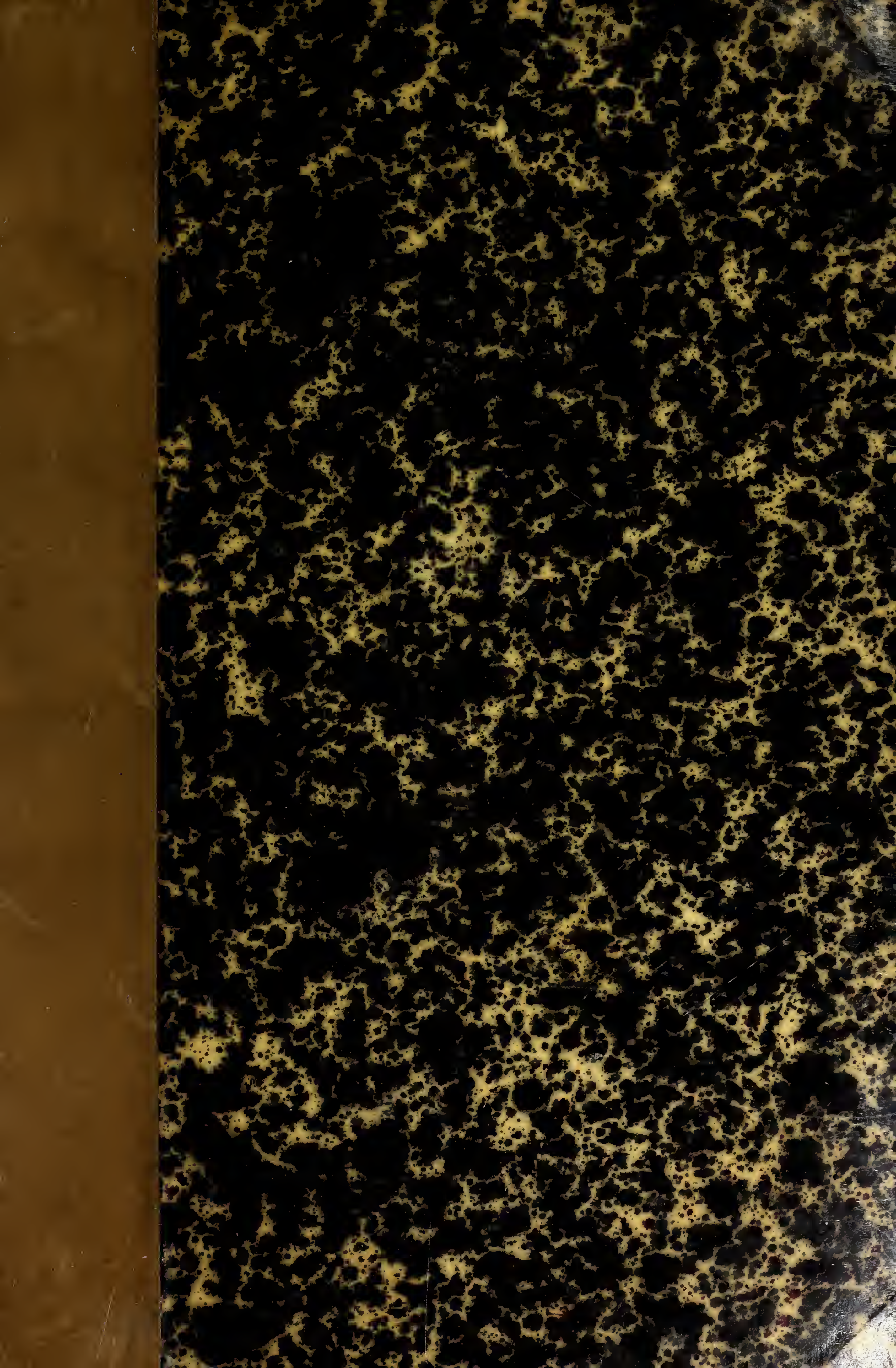
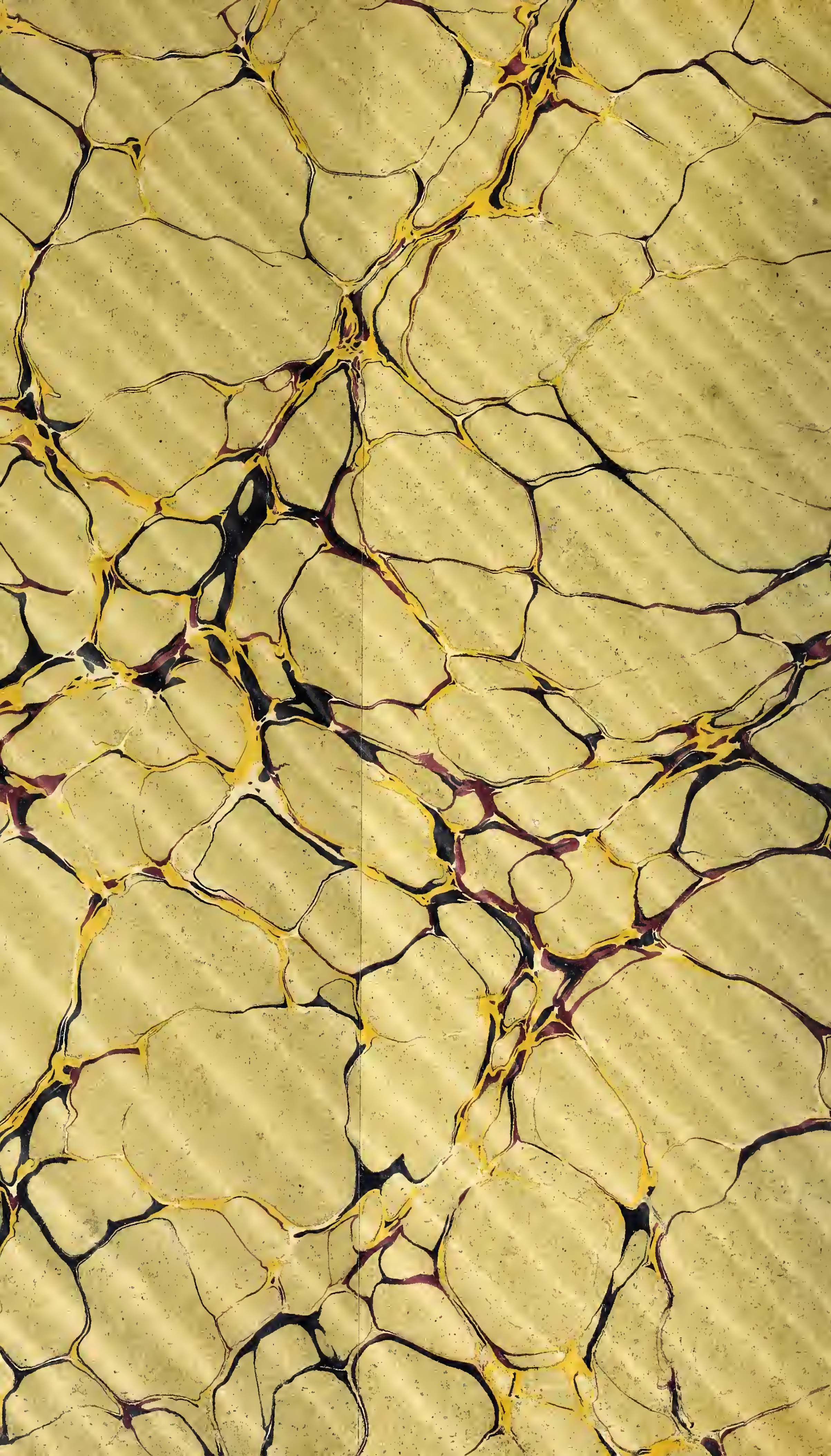
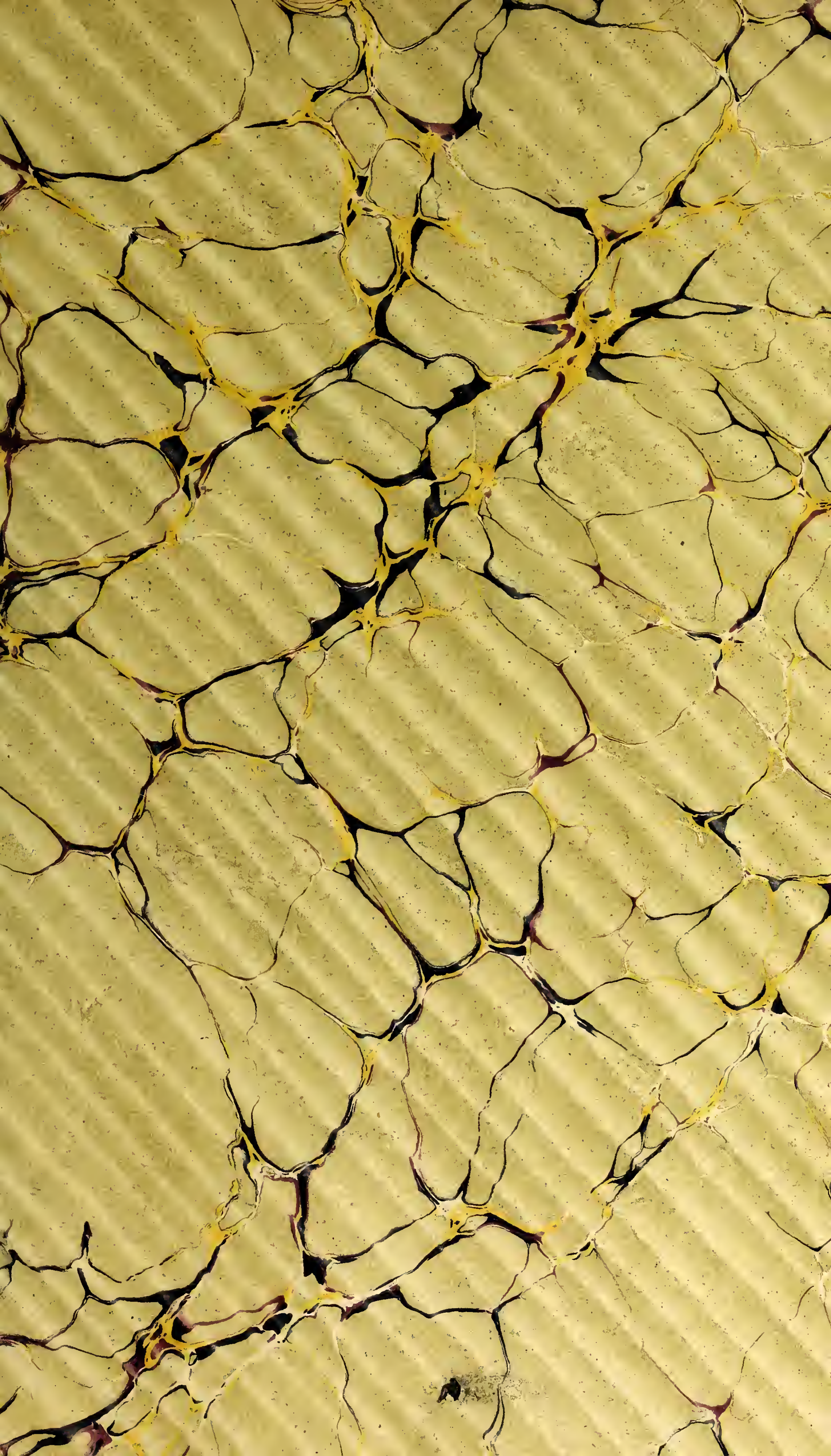






MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

INTRODUCTION GÉNÉRALE

TOME II

TROISIÈME PARTIE : SCIENCES

QUATRIÈME PARTIE : INDUSTRIE



PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIII

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900

À PARIS

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

INTRODUCTION GÉNÉRALE

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

INTRODUCTION GÉNÉRALE

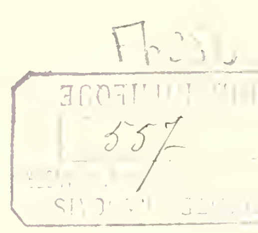
TOME II

TROISIÈME PARTIE : SCIENCES
QUATRIÈME PARTIE : INDUSTRIE



PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIII



TROISIÈME PARTIE

SCIENCES

PAR

M. ÉMILE PICARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PRÉFACE.

Tous les visiteurs de l'Exposition universelle ont admiré le merveilleux spectacle des applications scientifiques si variées qui ont tant modifié depuis un siècle les conditions d'existence des peuples civilisés. On n'aurait cependant qu'une vue incomplète, si on ne ramenait ces puissantes manifestations de l'activité humaine à leur véritable origine, je veux dire à la science théorique et désintéressée, qui est le germe fécond d'où sont sorties ces brillantes applications. Malheureusement, l'ensemble des idées et des théories qui constituent véritablement la science ne sont pas susceptibles de figurer dans des vitrines; ce serait un bien grand sujet que d'en retracer l'histoire durant le XIX[e] siècle, mais il demanderait la longue et intime collaboration des savants les plus autorisés dans les sciences mathématiques, physiques et biologiques. Aussi n'avons-nous pas eu une telle prétention dans ce rapport d'ensemble sur les sciences, à propos de l'Exposition de 1900; nous allons seulement jeter, autant qu'il nous sera possible, un coup d'œil sur les progrès accomplis dans les diverses sciences depuis quinze ou vingt ans, en insistant surtout sur les côtés généraux et philosophiques.

Nous ne nous attarderons pas à discuter les diverses classifications des sciences; très utiles pratiquement, elles sont toutes incomplètes et défectueuses par quelque endroit. Elles seront un

jour à reprendre, quand on aura mieux approfondi les postulats et axiomes nécessaires au développement de chaque science particulière. Or il s'en faut de beaucoup que l'on soit d'accord sur le véritable caractère et l'indépendance de ces principes fondamentaux. Dans quelques cas même, nous aurons à signaler une sorte de recul dans la hardiesse de la pensée scientifique devenue plus prudente. C'était, par exemple, il y a quarante ans, un axiome que la chaleur est un mode de mouvement et qu'on peut donner une explication mécanique des phénomènes calorifiques. Quelques services qu'ait rendus cette idée en conduisant au principe de la conservation de l'énergie, nous verrons que des doutes très sérieux se sont élevés à ce sujet, et comment tout au moins, rompant avec des vues trop étroites, il semble nécessaire d'attribuer un sens plus large au mécanisme. Même dans les sciences, comme la géométrie, qui paraissent si simples au point de vue des principes, on n'a dressé que tout récemment la longue suite des axiomes et postulats indépendants qui sont à la base de la géométrie la plus élémentaire. Dans l'état actuel de nos connaissances, les théories dans les sciences physico-chimiques tendent de plus en plus à prendre la forme mathématique; nous aurons à dire le rôle qu'elles jouent, ce qu'on doit attendre d'elles, et aussi à discuter la valeur objective qu'il faut leur attribuer. Les sciences biologiques se présentent généralement avec un autre caractère et sont à un stade moins avancé. Actuellement, ces sciences restent plus voisines de l'observation et de l'intuition pure et simple; la déduction y joue un rôle moins important, et il y est difficile de préciser les concepts fondamentaux. Le plus souvent, le mot de théorie n'a pas le même sens en physique ou chimie et en biologie; il est rare qu'ici une théorie permette de prévoir des faits nouveaux, comme il arrive dans les sciences physiques. Il n'en faut rien conclure

pour l'avenir, et déjà même certaines parties des sciences biologiques autorisent à cet égard de grandes espérances, pourvu que l'on ne se hâte pas trop de vouloir tout ramener à l'unité, et que l'on se contente, au moins provisoirement, de relations quantitatives entre des grandeurs peut-être qualitativement irréductibles.

SCIENCES.

CHAPITRE PREMIER.

SCIENCES MATHÉMATIQUES ET ASTRONOMIE.

I

LES PRINCIPES DE L'ANALYSE ET DE LA GÉOMÉTRIE.

On ne peut s'empêcher d'être frappé de l'abondance des publications parues depuis une vingtaine d'années et se rapportant à la philosophie des mathématiques; elles sont bien en accord avec les tendances de l'époque où nous vivons, et où l'esprit humain applique dans des directions variées une critique de plus en plus pénétrante. Placé à ce point de vue, on trouve même dans le nombre entier des difficultés que n'a pas dédaignées un grand physicien comme Helmholtz. Plus grandes encore sont les difficultés pour les nombres incommensurables qui, dans l'antiquité, troublèrent sans doute les pythagoriciens; pour les analystes modernes, un nombre incommensurable représente dans l'ensemble des nombres rationnels une coupure qui correspond à un partage de ces nombres rationnels en deux classes. L'étude arithmétique du concept du continu est loin d'être simple et a donné lieu à de nombreuses recherches, parmi lesquelles il faut citer celles de M. Dedekind et de M. G. Cantor. Toutes ces études paraîtront d'abord bien subtiles, car rien ne semble plus simple que la notion du continu, et nous avons tous, dira-t-on, l'intuition d'un ensemble continu, en considérant tous les points d'une droite compris entre zéro et un. Mais le caractère de ces spéculations philosophiques est précisément de se méfier de l'intuition, et c'est un peu ici la lutte entre l'intuition et la logique. Il faut d'ailleurs reconnaître que dans

IMPRIMERIE NATIONALE.

l'histoire de la science, on rencontre plus d'une confusion tenant à l'insuffisante élaboration des notions fondamentales. Si abstraits que soient ces travaux, je devais cependant les mentionner pour donner une idée des spéculations des géomètres philosophes qui ont cherché dans ces dernières années à éclaircir les principes de l'analyse mathématique. L'étude des bases de la géométrie n'a pas moins attiré l'attention; tout n'est pas si clair que le croient beaucoup de personnes, dans les commencements de la géométrie, et d'Alembert a pu écrire que la définition et les propriétés de la ligne droite sont l'écueil et le scandale de la géométrie. Nous sommes aujourd'hui bien convaincus qu'il y a dans toute science un point au delà duquel on ne peut remonter : il faut poser certaines données, certains concepts, et formuler au sujet de ces concepts des axiomes ou postulats qui reviennent, au fond, à les définir. On posera, par exemple, au début de la géométrie élémentaire, les concepts de point, de ligne droite, et on formulera cet axiome que deux points déterminent toujours une droite. C'est pour le géomètre un difficile problème que d'établir la géométrie sur un système complet et non contradictoire d'axiomes indépendants; dans ces derniers temps, des travaux remarquables, tels que ceux de M. Hilbert, ont été publiés dans cette voie. Suivant qu'on adopte tel ou tel système d'axiomes, on aura telle ou telle géométrie. On peut maintenant se demander quelle est l'origine de ces postulats. Pour Kant, la source de nos connaissances géométriques est dans l'intuition, et les axiomes plus ou moins explicitement formulés au début de la géométrie ont un caractère de nécessité absolue; l'espace est pour Kant une forme *a priori* de notre sensibilité. Aucun géomètre ne peut aujourd'hui souscrire à cette opinion, depuis qu'on a montré que diverses géométries, exemptes de toute contradiction logique, peuvent être obtenues en partant de divers systèmes de postulats, et on doit renoncer à cette intuition directe, antérieure à toute observation, que nous aurions de l'espace.

L'observation et l'expérience jouent donc un rôle indispensable dans la formation de nos connaissances géométriques; mais, tout en admettant ce point indiscutable, les avis sont encore très partagés. Quelques physiciens voient uniquement dans les axiomes des induc-

tions basées sur les observations et les mesures faites sur les corps : c'est l'empirisme géométrique. D'autres attribuent un rôle plus ou moins grand à l'esprit travaillant sur les données de l'expérience. Pour certains même, comme M. Poincaré, le concept de *groupe*, sur lequel nous reviendrons dans un moment, préexiste dans notre esprit et s'impose comme forme de notre entendement; en outre, plusieurs interprétations de l'expérience sont possibles, et parmi celles-ci l'esprit a choisi la plus commode et la plus simple. Il ne faut évidemment pas trop presser le sens de ces termes, qui ont surtout ici une signification algébrique; en fait, la commodité et la simplicité peuvent résulter de l'hérédité et de l'habitude.

Mais ne nous attardons pas à ces questions de psychologie, où on risque vite de ne se comprendre qu'à demi-mot, et restons sur le terrain mathématique et logique. J'ai fait tout à l'heure allusion à divers systèmes possibles de postulats. Si on ouvre un traité de géométrie élémentaire, on ne trouve formulé bien explicitement qu'un seul axiome; il porte le nom de *postulatum d'Euclide*. En réalité, un nombre considérable d'axiomes sont sous-entendus, et, en étudiant les plus récents travaux sur les principes de la géométrie, on est effrayé à la vue de la longue liste des postulats nécessaires à poser pour que la géométrie ait toute la rigueur logique qu'on lui attribue généralement. Les plus importants se rapportent aux concepts de droites, de plans, d'angles, de congruences; il en est un autre, d'une nature différente, qu'il pourrait paraître inutile de formuler, c'est le postulat de continuité ou axiome d'Archimède. Au point de vue logique, ce serait une erreur; ainsi on a pu construire des géométries étranges dans lesquelles, en portant à partir d'un point d'une droite une succession de segments égaux, il n'est pas possible d'atteindre un point déterminé de la droite, quelque grand que soit le nombre de ces segments.

En posant tous les axiomes de la géométrie plane habituelle, sauf celui d'Euclide, et en supposant que par un point on puisse mener une infinité de droites ne rencontrant pas une droite, on sait que Lobatschefski et Bolyai ont édifié une géométrie, trouvée de son côté par Gauss. Dans cette géométrie non euclidienne, la somme des angles

d'un triangle est inférieure à deux angles droits; on la désigne souvent sous le nom de géométrie hyperbolique. On peut admettre, au contraire, avec Riemann, que par un point on ne puisse pas mener de droite ne rencontrant pas une droite; on aura alors une seconde géométrie non euclidienne dite *elliptique*, dans laquelle la somme des angles d'un triangle dépasse deux droits. On dit souvent que les géométries planes peuvent être interprétées par la considération des pseudo-sphères ou des sphères de l'espace euclidien; toutefois, cette interprétation n'est valable que pour une portion limitée du plan non euclidien et non pour le plan tout entier. Une autre interprétation dans l'espace ordinaire de la géométrie plane elliptique, valable pour le plan entier, a été donnée récemment par M. Klein; considérons dans l'espace ordinaire l'ensemble des droites et des plans passant par un point, puis les angles dièdres formés par deux tels plans, toute relation entre ces éléments sera la traduction d'une relation dans le plan non euclidien, en substituant aux mots droite, plan, angle dièdre les mots *point*, *droite* et *angle*. On s'est naturellement demandé comment on pouvait être assuré que, dans les déductions des géométries non euclidiennes, on ne rencontrerait jamais de contradictions. Les interprétations auxquelles il a été fait plus haut allusion, sauf celles de M. Klein pour la géométrie elliptique, ne donnent pas une réponse satisfaisante, mais celle-ci peut être fournie par la considération des formules auxquelles on arrive en géométrie hyperbolique et qui ne sont autres que celles de la trigonométrie sphérique ordinaire, en supposant le rayon de la sphère purement imaginaire. Toutefois, si l'on est ainsi assuré que le postulatum d'Euclide ne peut être démontré en restant dans le plan, il reste un doute sur l'impossibilité de la démonstration en employant des constructions hors du plan. L'étude des géométries ne doit donc pas se borner au plan; ce fut là l'œuvre de Riemann, d'Helmholtz et, il y a dix ans, de Sophus Lie. Tous trois se placent à un point de vue analytique et considèrent l'espace comme une multiplicité, c'est-à-dire qu'un point est défini par un système de trois nombres qu'on appelle les *coordonnées du point;* on ne pose plus alors ici la notion de plan et de droite, on part du point comme élément. L'idée fondamentale d'Helmholtz con-

siste à porter l'attention sur l'ensemble des mouvements possibles dans l'espace dont on fait l'étude. On suppose que tous ces mouvements forment un groupe dépendant de six arbitraires, qu'ils laissent invariable une fonction des coordonnées de deux points quelconques, enfin que le mouvement libre soit possible, comme disait Helmholtz. Lie démontre que, dans l'espace à trois dimensions, il n'y a avec ces conditions que trois géométries possibles : l'une est notre géométrie ordinaire, et les deux autres correspondent aux deux géométries planes dont j'ai parlé plus haut, et de ce point de vue analytique, on est assuré de l'impossibilité de toute contradiction. On peut aussi, d'une manière plus géométrique, retrouver ces résultats avec Cayley et M. Klein, qui subordonne la conception métrique de l'espace à la conception projective.

On voit par ces indications quel bel ensemble forment les études faites sur les principes de la géométrie. Dans ces dernières années, la question de l'indépendance des postulats a surtout préoccupé les géomètres allemands, et c'est en construisant des géométries affranchies de tel axiome, tandis qu'elles en conservent tel autre, que l'indépendance de ces axiomes s'est trouvée établie. On remarquera aussi combien il est inexact de parler, comme on le fait quelquefois, des *trois* seules géométries possibles. Le nombre des géométries logiquement possibles est infini; tout dépend des systèmes de postulats que l'on adopte. Au point de vue mathématique, l'étude des principes de la géométrie a offert, comme nous l'avons dit, à Sophus Lie un beau champ d'applications pour la grandiose théorie des groupes de transformations qu'il venait de créer. De même, quarante ans auparavant, la théorie des formes quadratiques de différentielles s'était développée grâce aux recherches de Riemann sur les principes de la géométrie. C'est ainsi que des études, qui paraissent avoir d'abord un caractère purement philosophique, ont contribué au progrès des sciences mathématiques.

II

LES MATHÉMATIQUES PURES.

L'analyse mathématique repose sur l'idée de fonction, c'est-à-dire de dépendance entre deux ou plusieurs grandeurs. Il a fallu longtemps avant qu'on se rendît compte de la complexité extraordinaire de cette notion, et c'est là d'ailleurs une circonstance qui a été heureuse pour les progrès de la science. On a fait plus ou moins consciemment certaines hypothèses restrictives, et il n'est pas douteux que la considération des phénomènes naturels a plus d'une fois guidé le mathématicien dans le choix de ces hypothèses. Une première limitation essentielle a été celle de la continuité. Suivant le vieil adage : *natura non facit saltus,* nous avons le sentiment, on pourrait dire la croyance, que dans la nature tout se passe avec continuité. Il ne s'agit ici, bien entendu, que de la notion du continu physique tirée des données brutes des sens; nous avons dit plus haut qu'au point de vue du nombre l'idée de continuité est loin d'être aussi claire qu'elle le paraît. Le sentiment confus de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle s'accomplit tel ou tel phénomène est sans doute l'origine première de l'idée de dérivée d'une fonction, qui est à la base du calcul différentiel. On a particularisé davantage encore l'idée de fonction en considérant les fonctions analytiques, c'est-à-dire développables en séries de Taylor dans le voisinage d'une valeur arbitraire de la variable. Les fonctions élémentaires jouissent de cette propriété, et les facilités que produit la possibilité de ce développement ont donné aux fonctions analytiques une importance considérable. Depuis Lagrange, et surtout après les travaux de Cauchy, de Weierstrass et de Riemann, la théorie des fonctions analytiques est devenue une branche maîtresse de l'analyse mathématique. Elle doit son brillant essor à la découverte de quelques propositions générales parmi lesquelles se trouvent au premier rang les théorèmes de Cauchy sur l'intégration le long d'un contour. Depuis vingt ans, une partie importante de l'effort mathématique a été consacrée soit aux fonctions analytiques en général, soit à

certaines fonctions spéciales. Ne pouvant entrer ici dans le détail de ces recherches abstraites, qu'il me suffise de citer les noms de MM. Poincaré, Mittag-Leffler, Picard, Appell, Goursat, Painlevé, Hadamard et Borel entre bien d'autres. Les singularités des fonctions analytiques et leurs diverses représentations par des séries, des intégrales définies, des fractions continues ont été étudiées d'une manière approfondie. Parmi les travaux les plus récents relatifs aux développements en série, mentionnons les développements dus à M. Mittag-Leffler, et la notion de série divergente sommable introduite par M. Borel qui l'a brillamment utilisée pour l'étude des propriétés des fonctions. Parmi les fonctions particulières, après le merveilleux développement de la théorie des fonctions algébriques d'une variable et des transcendantes qui s'y rattachent, après les brillants travaux de M. Poincaré sur les fonctions fuchsiennes, les fonctions algébriques de deux variables devaient solliciter l'effort des chercheurs. Les études de M. Picard sur ces questions concernent le point de vue transcendant; celles de M. Nœther, de MM. Castelnuovo, Enriques et Humbert se rapportent surtout au point de vue géométrique et algébrique. Le champ si vaste des fonctions analytiques de plusieurs variables est maintenant attaqué de différents côtés et les résultats déjà obtenus promettent une ample moisson de découvertes.

Si le concept de fonction analytique comprend aujourd'hui dans son domaine les fonctions les plus importantes de l'analyse, on ne doit cependant pas négliger d'approfondir l'idée de fonction dans toute sa généralité. Depuis les travaux de Riemann qui classa les fonctions en intégrables et non intégrables, et de Weierstrass qui donna le premier exemple d'une fonction continue sans dérivée, ces études ont été poursuivies par M. Darboux et M. Dini et actuellement par quelques géomètres italiens. Je ne veux signaler qu'une remarque curieuse montrant comment nous devons parfois nous méfier de nos conceptions les plus simples. Quoi de plus simple, semble-t-il, qu'un arc de courbe plane pour laquelle les coordonnées d'un point quelconque sont deux fonctions continues d'un paramètre variant entre deux limites? Nous suivons en quelque sorte des yeux le point décrivant cet arc. Cependant M. Peano a montré qu'on peut choisir ces deux fonctions de telle

sorte que le point puisse prendre une position quelconque dans un certain rectangle; nous avons alors le résultat étrange d'une courbe qui est une aire. C'est ici le triomphe de ceux qui, comme je le disais tout à l'heure, se méfient de l'intuition. A quoi pourront servir, dira-t-on, des fonctions aussi bizarres? Il est facile de répondre que les fonctions n'ont pas besoin de servir à quelque chose et que l'étude de l'idée de fonction mérite d'être faite pour elle-même. Mais de plus, avec la complexité croissante des phénomènes naturels dont nous devons aborder l'étude, les images que nous pourrons nous en faire ne nous conduiront-elles pas à employer d'autres fonctions, pour leurs représentations, que les fonctions analytiques? Il serait téméraire de formuler une réponse négative.

Mais revenons au présent. Toute l'histoire de la science montre les rapports qui unissent l'analyse pure et les phénomènes naturels. Cette solidarité se traduit mathématiquement quand on a ramené l'étude d'un phénomène à des équations différentielles; ainsi, pour Fourier, l'étude de la propagation de la chaleur se ramène à une équation aux dérivées partielles que l'on devra intégrer à l'aide de conditions aux limites propres à chaque cas. De même, tous les résultats de la théorie mathématique de l'élasticité se concentrent dans un système classique d'équations différentielles. Nous reviendrons sur cette réduction au point de vue de la mécanique et de la physique, quand nous parlerons de l'explication des phénomènes naturels. Nous voulions seulement ici faire comprendre l'intérêt considérable s'attachant à l'étude des équations différentielles, qui se présentent d'ailleurs dans presque toutes les parties des mathématiques pures. Dans ces dernières années, la théorie des équations différentielles a fait l'objet de nombreuses recherches. Des voies nouvelles ont été ouvertes et dans des directions variées. Il faudra sans doute encore une longue suite d'efforts pour venir à bout des questions posées, mais nous nous rendons compte de la nature des difficultés qu'il faudra vaincre. La plupart des géomètres qui se sont occupés de la théorie générale des fonctions analytiques, ont apporté aussi leurs contributions à l'étude des équations différentielles ordinaires, commencée jadis à ce point de vue par Cauchy et continuée par Briot et Bouquet et par M. Fuchs. Les recherches les plus

récentes dans cet ordre sont celles de M. Painlevé que la considération de certaines équations du second ordre a conduit à des transcendantes nouvelles. La physique mathématique indiquait, nous l'avons dit, des types de problèmes du plus haut intérêt; cette voie féconde a été suivie par de nombreux chercheurs, comme MM. Schwarz, Neumann et Poincaré pour l'équation de Laplace; MM. Picard et Volterra pour des équations plus générales. A un autre point de vue encore, l'étude des courbes définies par des équations différentielles a été renouvelée et des méthodes nouvelles ont été créées par M. Poincaré; la liaison étroite de ce problème avec la géométrie de situation a été mise en évidence et très heureusement utilisée par M. Hadamard dans ses recherches sur les lignes géodésiques.

Le beau traité de M. Goursat sur les équations aux dérivées partielles du second ordre vient de rappeler l'attention sur des questions importantes quelque temps négligées, comme l'intégration effective à l'aide d'expressions d'un type déterminé. Pareillement, les recherches de géométrie infinitésimale ont pris un grand essor sous l'influence du grand ouvrage de M. Darboux sur la théorie des surfaces; ses travaux, ceux de MM. Bianchi, Weingarten, Guichard ont donné une vie nouvelle à cette partie si importante depuis Gauss, des sciences mathématiques, et, entre autres, la question de la déformation des surfaces s'est enrichie de résultats remarquables.

Nous avons parlé tout à l'heure de l'œuvre de Sophus Lie sur la théorie des groupes de transformations, qui restera certainement un des plus beaux monuments de l'analyse mathématique au XIX[e] siècle. L'illustre géomètre en avait montré l'importance dans l'étude des équations différentielles, et ses élèves ont continué ce genre de recherches. A un tout autre point de vue, M. Picard, MM. Vessiot et Drach ont tiré parti de la théorie des groupes de transformations pour étendre à l'analyse les notions si fécondes introduites en algèbre par Galois, de telle sorte que de remarquables analogies entre la théorie des équations différentielles et la théorie des équations algébriques ont été mises en évidence.

Il nous faut encore dire un mot de la partie la plus abstraite des sciences mathématiques, celle où règne le nombre pur. Les célèbres

recherches de Kummer, de M. Dedekind et de Kronecher sur les nombres algébriques ont été l'origine de travaux extrêmement intéressants publiés surtout en Allemagne. Toute une arithmétique nouvelle a été fondée, où les lois de la divisibilité se présentent d'abord tout autres que dans l'arithmétique usuelle; on y voit des entiers décomposables de plusieurs manières en facteurs premiers, et ce n'est qu'en introduisant la notion des idéaux que M. Dedekind a pu retrouver les lois simples auxquelles nous sommes habitués. Citons au moins le nom de M. Minkowski qui utilise en arithmétique les conceptions géométriques et vient de rassembler ses profondes recherches dans un livre sur la géométrie des nombres, et les noms de MM. Hilbert, Hurwitz et Frobenius auxquels la théorie des nombres et l'algèbre pure doivent d'importants progrès. Rappelons enfin que M. Lindemann, s'inspirant des profondes recherches d'Hermite sur la transcendance du nombre e, a pu établir l'impossibilité de la quadrature du cercle, proposition dont, depuis plus de deux mille ans, on cherchait en vain une démonstration rigoureuse.

III

LA MÉCANIQUE CÉLESTE ET L'ASTRONOMIE PHYSIQUE.

Nous obéissons aux habitudes en parlant ici de l'astronomie, science dont une partie a un caractère exclusivement mathématique, et dont l'autre rentre en réalité dans la physique. L'astronomie de position ne nous éloigne pas de la théorie des équations différentielles dont nous parlions tout à l'heure. Une fois posées les lois de la gravitation universelle, et le Soleil et les planètes étant supposés réduits à des points matériels, la recherche des positions des planètes revient à l'intégration d'un système d'équations différentielles qui s'écrit aisément. Malgré leur apparente simplicité, ces équations présentent d'énormes difficultés et font depuis longtemps l'objet de l'étude approfondie des géomètres et des astronomes. Si des circonstances particulières, comme la grandeur de la masse du Soleil par rapport à celle des planètes, ne s'étaient présentées, les procédés d'intégration par

approximations successives employés par les astronomes n'auraient conduit à aucun résultat; on peut donc se réjouir des circonstances heureuses auxquelles nous devons le magnifique épanouissement de la mécanique céleste depuis plus d'un siècle. Une œuvre magistrale, dont l'auteur a été prématurément enlevé à la science, il y a quelques années, le *Traité de mécanique céleste* de Tisserand, donne un tableau complet de l'état actuel de l'astronomie mathématique. Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire les dernières lignes de cet ouvrage qui résument les progrès de l'astronomie de position au siècle dernier : «La loi de Newton, dit Tisserand, représente en somme, avec une très grande précision, les mouvements de translation des corps célestes. On peut être émerveillé de voir que les inégalités si nombreuses, si compliquées, et quelques-unes considérables du mouvement de la Lune soient représentées comme elles le sont, par la théorie. Sans doute il reste quelque chose : dans un intervalle de deux siècles et demi environ, la Lune s'écarte peu à peu de la position calculée jusqu'à un maximum de quinze secondes d'arc, de manière que, durant ce long intervalle, le bord éclairé de la Lune passera un peu plus tôt ou un peu plus tard devant les fils d'araignée de la lunette méridienne, sans que l'avance ou le retard dépasse une seconde de temps. De même les positions des planètes, pendant un siècle et demi d'observations précises, sont représentées à moins de deux secondes d'arc près. Il y a une exception : Mercure peut être en avance ou en retard d'une quantité qui, pour certaines régions de l'orbite, s'élève à huit secondes d'arc, soit une demi-seconde de temps au bout d'un siècle. Les désaccords pour le nœud de Vénus et le périhélie de Mars sont bien moins importants. On éprouve, en fin de compte, une admiration profonde pour le génie de Newton et de ses successeurs et pour les immenses travaux de Le Verrier, poursuivant pendant plus de trente ans son enquête méthodique dans toute l'étendue du système solaire, travaux si habilement continués et développés par M. Newcomb.»

Il nous faut ajouter maintenant que, au point de vue théorique, le mathématicien a lieu d'être moins satisfait que l'astronome, et on peut dire que les équations de la mécanique céleste font son désespoir.

Depuis dix ans, M. Poincaré poursuit sur ce sujet des recherches extrêmement profondes, qu'il vient de rassembler dans un ouvrage ayant pour titre : *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. Les conclusions les plus importantes ont un caractère négatif. M. Poincaré montre que les séries employées en mécanique céleste ne peuvent être toujours convergentes et qu'on n'en peut rien tirer en toute rigueur pour la position des astres à très longue échéance ; ceci, bien entendu, n'empêche pas que, pour un temps assez limité, on ne puisse avoir confiance dans les prédictions des calculs habituels, grâce aux heureuses circonstances auxquelles j'ai fait allusion. En outre, M. Poincaré établit qu'il n'existe pas d'autres intégrales premières uniformes que celles actuellement connues. Parmi les résultats positifs dus à l'éminent géomètre, citons les solutions périodiques et les solutions asymptotiques dont il a démontré l'existence et qui permettront probablement de modifier le point de départ des méthodes d'approximations suivies aujourd'hui. Il est à craindre, néanmoins, que les efforts des analystes ne viennent échouer longtemps encore contre les immenses difficultés d'un problème posé cependant si nettement : les lois de la nature ne sont pas toujours simples pour les calculs des mathématiciens. En présence de ces difficultés, il n'y a certes pas lieu d'être étonné des quelques désaccords que présentent avec l'observation les théories de la Lune et de Mercure ; on peut penser que c'est à notre impuissance analytique et non pas à la loi même de la gravitation universelle qu'il faut attribuer ces légères discordances.

L'astronomie d'observation a fait à la physique des emprunts de plus en plus étendus. La photographie appliquée à l'astronomie est devenue un puissant auxiliaire de l'astronomie de position, en permettant d'entreprendre la carte céleste internationale. La spectroscopie avait, dès sa naissance, trouvé dans le ciel une de ses plus remarquables applications ; elle a, depuis, révélé la constitution de presque tous les astres, depuis les comètes jusqu'aux nébuleuses et même, au moyen de la méthode Döppler-Fizeau dont nous parlerons en physique, décelé la vitesse de leurs mouvements propres. Si la photographie et la spectroscopie ont pu ainsi changer en quelque sorte la face de l'astronomie d'observation, cela est dû, pour une

bonne part, aux perfectionnements apportés à la construction des instruments, et en particulier à la puissance des objectifs que l'on emploie aujourd'hui. Il existe maintenant plusieurs lunettes ayant un mètre d'ouverture, et tout le monde a vu à l'Exposition la grande lunette de soixante mètres dont l'objectif a 1 m. 20 de diamètre. Un examen rapide des divers corps du système solaire, puis des systèmes beaucoup plus éloignés formés par les étoiles et les nébuleuses, nous montrera les résultats essentiels obtenus en astronomie dans ces dernières années.

Il est indispensable de connaître la forme, les dimensions et les mouvements de la Terre que nous habitons. L'Europe presque tout entière a été couverte de triangles géodésiques. Les Anglais ont triangulé l'Inde, et au Cap ils ont étendu l'arc de La Caille, qu'ils songent à prolonger jusqu'à la Méditerranée. La France reprend en ce moment l'arc du Pérou, tandis que des missions russe et suédoise mesurent un arc au Spitzberg. Les mesures relatives à la gravité sont toujours le complément indispensable des opérations géodésiques. Tandis que jusqu'ici on s'est servi presque exclusivement dans ce but du pendule, M. Eotvos vient de modifier la balance de torsion, en remarquant que la pesanteur aux divers points de cette balance n'est pas la même que celle au centre de gravité autour duquel se font les oscillations, ce qui produit un couple. Son ingénieux appareil a reçu un grand prix à l'Exposition.

Le mouvement de translation de la Terre donne, comme on sait, naissance à ce qu'on appelle l'aberration, d'après laquelle nous ne voyons pas exactement les étoiles à leurs places réelles; la constante si importante de l'aberration ne paraît pas encore être connue avec la précision désirable. Dans le déplacement annuel de la Terre autour du Soleil, son axe de rotation ne reste qu'à peu près parallèle à lui-même; ses mouvements correspondent à la précession et à la nutation, phénomènes qui produisent les variations de longitude et de latitude en chaque point de notre globe. Dans ces dernières années, aucun problème astronomique n'a suscité plus de recherches que celui de la variation des latitudes. Le mouvement en spirale du pôle sur la surface terrestre est maintenant établi, et il est hors de doute

que dans les variations de latitude résultant des mouvements du pôle, il existe deux termes périodiques dont l'un, découvert par M. Chandler, est de quatorze mois, l'autre étant d'une année. Il resterait à démêler les causes météorologiques, géologiques ou autres, produisant ce mouvement si complexe.

Les études d'astronomie physique sur le Soleil et la Lune se poursuivent régulièrement. C'est surtout au spectroscope que nous devons nos connaissances sur la constitution physique du Soleil. Ce merveilleux instrument montre que la plupart des corps connus à la surface de la Terre existent dans le Soleil à l'état de vapeur, et même, chose singulière, il a révélé dans le Soleil l'existence de l'hélium près de trente ans avant que ce gaz fût découvert parmi les éléments terrestres. Au-dessus de la photosphère, se trouve une enveloppe rose et mince qui l'entoure, la chromosphère. Çà et là, celle-ci s'élève à de grandes hauteurs formant ainsi des flammes qu'on appelle les protubérances. En 1868, MM. Janssen et Lockyer avaient montré qu'on pouvait les observer en dehors des éclipses; leur spectre, contenant un grand nombre de raies brillantes, a été étudié avec soin, et MM. Hale et Deslandres ont même pu obtenir des photographies des protubérances. En interprétant, avec le principe Döppler-Fizeau, les déplacements des raies du spectre des protubérances, on a trouvé que ces flammes sont le siège de mouvements extrêmement rapides. Au-dessus de la chromosphère, se trouve la couronne, qui forme la dernière et aussi la plus mystérieuse des enveloppes solaires. On l'aperçoit seulement pendant les éclipses totales de Soleil sous forme d'auréole à lumière argentée entourant le Soleil et la Lune. La couronne n'étant observable que quelques heures par siècle, nos connaissances sur sa nature progressent lentement. Parmi les raies brillantes de son spectre, on remarque surtout une raie verte produite par une matière encore inconnue sur la terre, le coronium. D'après les observations des dernières éclipses, M. Deslandres pense que la couronne tout entière tourne dans le même sens que le Soleil.

La portion de la surface de notre satellite, tournée vers la Terre, commence maintenant à être connue avec une grande précision, grâce aux photographies lunaires faites par MM. Lœwy et Puiseux avec le

grand équatorial coudé de l'Observatoire de Paris. Un grand nombre de cartes de leur magnifique atlas ont déjà paru, représentant la Lune à l'échelle de 1 millimètre pour 1,800 mètres. Plusieurs astronomes pensent actuellement que la Lune doit avoir une légère atmosphère qui aurait eu autrefois une densité beaucoup plus forte qu'aujourd'hui.

Nous avons vu les difficultés subsistant au point de vue de la théorie de la planète Mercure. Au point de vue physique, sa surface ne présentant jamais que de rares détails difficiles à saisir, on a encore quelques doutes sur la durée de sa rotation autour de son axe. Longtemps la durée admise a été d'environ vingt-quatre heures, mais, d'après les observations récentes de M. Schiaparelli, confirmées par M. Perrotin, elle tournerait sur elle-même dans le même temps qu'elle tourne autour du Soleil, soit quatre-vingt-huit jours. Quoique la planète Vénus soit l'astre le plus brillant du ciel, après le Soleil et la Lune, on sait peu de chose de sa constitution physique, sans doute à cause de son atmosphère épaisse; la durée de la rotation est regardée par MM. Schiaparelli et Perrotin comme égale à deux cent vingt-cinq jours. Toutefois des observations spectroscopiques très récentes, annoncées par M. Bélopolsky, tendraient à la ramener à peu près à vingt-quatre heures.

La question des canaux de Mars n'a guère avancé dans ces dernières années. Pour les petites planètes comprises entre Mars et Jupiter, leur nombre s'accroît sans cesse et on les découvre maintenant par la photographie. Le plus intéressant de ces astéroïdes est Éros, qui a été découvert par M. Witt, à Berlin, en 1898; il présente cette particularité unique de se trouver parfois entre Mars et la Terre, et de passer à une faible distance de celle-ci. On aura ainsi un moyen de trouver la distance d'Éros à la Terre, et, par suite, de fixer avec une précision jusqu'ici irréalisable les dimensions du système solaire; une entente s'est établie à ce sujet, entre divers observatoires, à la dernière conférence astronomique internationale. Un autre événement astronomique important a été la découverte faite en 1892, par M. Barnard, à l'Observatoire Lick d'un cinquième satellite de Jupiter dont la révolution autour de la planète est d'environ douze heures.

Les questions se rattachant aux comètes sont très nombreuses; c'est un des problèmes les plus intéressants à l'ordre du jour, tant au point de vue de l'astronomie de position qu'au point de vue de l'astronomie physique et de la cosmogonie. On a pensé longtemps que les comètes venaient des espaces interstellaires et pénétraient le plus souvent en étrangères dans le système solaire pour en sortir ensuite, mais on admet maintenant qu'elles appartiennent au système solaire. La désagrégation des comètes paraît tenir surtout à l'action du Soleil et des planètes, l'action prépondérante étant celle du Soleil qui agit lentement par son attraction et plus énergiquement par sa chaleur. Des comètes aux étoiles filantes, la transition est immédiate. La parenté entre les deux espèces de corps est indéniable, mais, malgré les beaux travaux de M. Schiaparelli, bien des questions restent ouvertes, et la désagrégation des comètes ne suffit probablement pas à expliquer comment la Terre rencontre tant d'essaims d'étoiles filantes.

Si du système solaire, nous passons au monde sidéral, nous voyons se dresser les problèmes les plus grandioses. Il est inutile d'insister à nouveau sur l'importance de la photographie pour la formation d'une carte céleste et d'un catalogue d'étoiles. Ce travail immense est en excellente voie; le catalogue, qui doit renfermer les coordonnées exactes de deux à trois millions d'étoiles jusqu'à la onzième grandeur, sera même terminé d'ici peu. Un des problèmes les plus captivants de l'astronomie stellaire est la recherche des étoiles doubles ou multiples; longtemps négligée en France, cette branche de l'astronomie est maintenant cultivée avec succès notamment par MM. Callandreau, Bigourdan et Perrotin. L'étude du mouvement des étoiles doubles ou multiples a révélé en quelque sorte l'unité primordiale qui règne dans l'Univers, car elle a montré que, dans ces systèmes éloignés, la matière obéit aux mêmes lois de l'attraction que dans le système solaire. De plus, on a pu, en observant le dédoublement périodique de certaines raies spectrales, conclure que quelques étoiles, simples sous les plus forts grossissements, étaient doubles et animées d'un mouvement relatif orbital. Enfin, une autre classe d'étoiles doubles est formée par celles qui ont un compagnon obscur, dont la présence n'est révélée que par l'irrégularité du mouvement propre de l'étoile

principale : tel est le cas de Sirius. Mentionnons encore les étoiles dont l'éclat est variable, les étoiles nouvelles comme celle qui apparut, de décembre 1891 à avril 1892, dans la constellation du Cocher, et enfin les nébuleuses dont on fixe aujourd'hui, avec la plus haute précision possible, la position actuelle dans le ciel. Le nombre des nébuleuses connues a considérablement augmenté, principalement par suite des belles observations faites dans ces dernières années, à Paris, par M. Bigourdan; leur intérêt tient surtout au rôle capital que ces astres jouent dans les théories cosmogoniques, chaque nébuleuse paraissant constituer un monde stellaire en formation.

IMPRIMERIE NATIONALE.

CHAPITRE II.

MÉCANIQUE ET ÉNERGÉTIQUE.

I

SUR LES PRINCIPES DE LA MÉCANIQUE.

A la fin du XVIIIe siècle, les principes de la mécanique semblaient au-dessus de toute critique, et l'œuvre des fondateurs de la science du mouvement formait un bloc que l'on croyait devoir défier à jamais le temps. Depuis cette époque, une analyse pénétrante a examiné à la loupe les fondations de l'édifice. En fait, là où les Lagrange et les Laplace trouvaient toutes choses simples, nous rencontrons aujourd'hui les plus sérieuses difficultés. Tous ceux qui ont eu à enseigner les débuts de la mécanique, pour peu qu'ils aient réfléchi par eux-mêmes, ont senti combien les expositions plus ou moins traditionnelles des principes sont incohérentes. Elles sont trop souvent imprégnées de ce dualisme entre force et matière qui s'était introduit dans l'ancienne mécanique; la force y paraît être un agent particulier qui est la cause du mouvement de la matière. Aussi d'illustres physiciens ont-ils voulu rompre avec les anciennes habitudes. Abandonnant complètement le point de vue historique du développement de la science, ils se placent à un point de vue analogue à celui du géomètre qui construit une géométrie en partant d'un certain nombre d'axiomes; leur méthode est ainsi toute *déductive*. Une telle manière de procéder a ses avantages et ses inconvénients. Les avantages sont que l'exposition est d'une clarté parfaite et que le système est bien enchaîné; on construit ainsi de toutes pièces et *a priori* un ensemble de représentations, et l'on en tire toutes les conséquences possibles. C'est seulement quand l'exposition du système est complète que l'on compare les résultats avec l'expérience. Cette façon de procéder est évidemment très philosophique; elle avoue, en quelque sorte, nettement dès le début, que le seul but de la science est de chercher un

système d'images que nous faisons correspondre à la réalité et qui permettent, dans certains cas, de prévoir cette réalité sans avoir la prétention de l'atteindre effectivement. On comprend, de plus, immédiatement que ce système d'images ne soit pas nécessairement unique et qu'on puisse en adopter plusieurs. Mais ici nous touchons en même temps aux inconvénients de cette voie déductive, au moins comme méthode d'enseignement; elle ne montre pas comment on a été conduit à échafauder la construction, et en cela ne satisfait pas l'esprit. La même difficulté ne se présentait évidemment pas pour la géométrie, où les postulats ont un caractère beaucoup plus intuitif et se rapportent à l'expérience vulgaire.

Un type de construction de la mécanique à la manière déductive nous est offert par les leçons de M. Boltzmann sur les principes de la mécanique. On pose l'existence d'un certain nombre de points matériels, et une série de postulats sur le mouvement de ces points est formulée. L'accélération de chaque point est la somme de $n-1$ accélérations partielles dirigées suivant les droites joignant le point considéré aux $n-1$ autres. De plus, ces accélérations partielles, quand on considère les différents points, sont deux à deux de sens contraires et dans un rapport constant, et un système unique de rapports peut être adopté pour les différents points; enfin, elles dépendent simplement de la distance des deux points correspondants.

On voit qu'avec un tel système de postulats, qu'on pourrait même élargir quelque peu, l'introduction des notions de masse et de force ne présente aucune difficulté. Un système d'équations différentielles d'une forme déterminée se trouve établi. Il y entre diverses fonctions arbitraires, on aura à voir si, pour telles catégories de phénomènes, on peut les choisir de façon que les faits concordent avec ces équations différentielles et que l'on puisse prédire les mouvements correspondant à certaines données initiales. S'il en est ainsi, on est en possession du système d'images dont je parlais plus haut; on a tout ce que l'on doit chercher dans l'explication mécanique des phénomènes comme le demandait Kirchoff.

Nous chercherons plus loin si cette dernière vue, excellente en elle-

même, ne doit cependant pas être énoncée avec quelques réserves et si, formulée d'une manière trop absolue, elle n'est pas susceptible de nuire aux progrès de la science.

Un autre type de construction de la mécanique à la manière déductive nous est offert par le traité de Hertz. On sait que le grand physicien, enlevé si tôt à la science, après ses immortelles découvertes sur la propagation des ondes électro-magnétiques, consacra la dernière année de sa vie à rassembler ses vues sur la mécanique. Le système de Hertz rompt beaucoup plus avec les habitudes traditionnelles que le système précédent. Quelques notions purement cinématiques doivent d'abord être rappelées. Considérant un système de points affectés de certains coefficients qui deviendront plus tard les masses, il est aisé de définir ce qu'on entend par *longueur* d'un déplacement élémentaire de ce système de points, ainsi que par *direction* et par *courbure* de ce déplacement. Il peut y avoir certaines liaisons entre les points du système; quand elles sont indépendantes du temps et qu'elles concernent seulement les positions relatives des différents points, on dit que le système est *libre*. Appelons encore, avec Hertz, déplacement élémentaire *le plus droit*, un déplacement qui a une courbure moindre que tout autre déplacement élémentaire possible de même direction, et désignons enfin par chemin *le plus droit*, un chemin dont tous les éléments sont les plus droits.

Avec ces définitions nous pouvons énoncer le postulat fondamental sur lequel est basée toute la mécanique de Hertz : un système libre demeure en repos ou décrit d'une manière uniforme une trajectoire qui est un chemin le plus droit. On pourrait encore donner une autre forme à ce principe en disant que, dans le mouvement réel, la somme des accélérations des points du système multipliés par leurs masses est à chaque instant minima parmi tous les mouvements possibles répondant à la même position et aux mêmes vitesses, et ceci rappelle un théorème célèbre de Gauss. Pour Hertz, tout système dans la nature est un système libre ou une portion d'un système libre auquel on peut appliquer le principe fondamental. Il y a cependant des systèmes qui nous paraissent libres et auxquels ne s'applique certainement pas le principe; cela tient, répond Hertz, à ce que, outre les mouvements

visibles, il y a des mouvements cachés et que les systèmes visibles sont liés à des systèmes cachés, de telle sorte que l'ensemble du système visible et du système caché forme réellement un système libre. La nécessité, dans certains cas, de l'introduction de masses cachées paraît d'abord singulière; en réalité, cette introduction est très familière au physicien. L'éther, qui joue un si grand rôle en physique, est une masse cachée, et certains mouvements vibratoires de la matière pondérable sont eux-mêmes des mouvements cachés.

On comprend, toutefois, que l'indétermination qui subsiste dans l'introduction des masses cachées doive rendre singulièrement difficile l'application des idées de Hertz, même dans des cas très simples. C'est là un grave reproche, mais si l'on passe outre, on ne peut qu'admirer la belle construction du grand physicien; elle est largement suggestive et *constitue un vaste programme* pour la mécanique et la physique de l'avenir. On ne doit pas s'étonner que la force ne joue dans tout cela aucun rôle; il n'en peut être autrement dans la méthode déductive où les lois seules du mouvement sont posées. La force ne pourra apparaître que comme une certaine expression analytique. C'est ce qui arrive quand on considère un système libre que l'on décompose en deux parties; on est alors conduit à envisager l'action d'une des parties sur l'autre, et inversement. On obtient ainsi des actions et réactions directement opposées. Ceci rappelle le postulat classique de Newton sur l'égalité de l'action et de la réaction, mais il importe de remarquer que la loi affirmée par Newton a un caractère plus général que celle qui se déduit des principes de Hertz. Une comparaison un peu grossière et qui n'est pas entièrement exacte fera suffisamment comprendre ce point. Les seules forces pour Hertz sont, en quelque sorte, des actions de contact; il n'y a donc dans sa mécanique que des actions et réactions appliquées aux mêmes points. Quand Newton, au contraire, considère l'action et la réaction du Soleil et d'une planète, les deux forces sont appliquées à deux points différents. La mécanique du physicien de Bonn ne connaît pas de telles forces, et ses principes ne pourraient s'appliquer à ce cas que si quelque hypothèse était faite sur la nature de la liaison entre les deux astres. D'ailleurs le principe de Newton, sous sa forme absolument générale, n'est rien moins que clair,

et le sens même en est douteux dans plus d'un exemple touchant le magnétisme et l'électricité.

Le principe de la conservation de l'énergie définie comme la somme des produits des masses par les carrés des vitesses est, pour les systèmes libres, une conséquence immédiate du postulat fondamental de Hertz, et on le retrouve aussi sous sa forme habituelle pour une portion d'un système libre regardée comme soumise à certaines forces. Hertz fait une étude approfondie des mouvements cycliques et des mouvements conservatifs, en s'inspirant des recherches antérieures de Helmholtz. Considérons un système formé de masses visibles et de masses cachées, sous la condition que ces dernières forment ce que Hertz appelle un système cyclique adiabatique, le système primitif est dit conservatif. On sait que l'on distingue souvent l'énergie cinétique et l'énergie potentielle; pour un système conservatif, l'énergie cinétique est l'énergie définie comme plus haut des masses visibles, et l'énergie potentielle n'est autre chose que l'énergie des masses cachées. Ces deux énergies ne sont pas de natures différentes; la distinction au fond est factice et dépend du degré de notre connaissance. On voit combien sont profondes les spéculations de Hertz; ces vues générales peuvent être regardées comme définissant ce qu'on doit entendre par une explication mécanique. Quant à la question de savoir si tout phénomène est susceptible d'une explication mécanique, j'y reviendrai tout à l'heure.

Les modes d'exposition déductifs, qu'ils se présentent sous une forme ou sous une autre, sont d'abord très séduisants. Ils condensent, en quelques postulats que l'on formule au début, les résultats auxquels a conduit la succession d'efforts et de tâtonnements des créateurs de la science du mouvement. Ces postulats ont un caractère extrêmement général, et l'on renvoie à l'expérience pour vérifier leurs conséquences plus ou moins lointaines. Il faut, toutefois, reconnaître que, à côté d'eux, d'autres modes d'exposition se rapprochant davantage de l'ordre historique seront, sans doute, longtemps encore préférés. Ce n'est pas qu'ils ne présentent de grandes difficultés et que la forme traditionnelle n'en doive être beaucoup modifiée. Il est à craindre, toutefois, qu'ils ne conservent un caractère à moitié inductif et à moitié déductif qui leur donne peu d'unité. La question étant de grande impor-

tance, on me permettra de dire quelques mots sur un mode d'exposition que j'ai eu l'occasion d'indiquer, sans me faire illusion sur les critiques qu'on peut, comme à tout autre, lui adresser.

Un principe, comme le principe de l'inertie, n'est, en réalité, qu'une définition, et quand statiquement on mesure des forces avec un ressort ou un dynamomètre, il faut regarder aussi comme une définition le principe newtonien de l'égalité de l'action et de la réaction. Les expériences de Galilée se rapportent à la dynamique dans un champ constant; elles postulent d'ailleurs le temps et l'espace absolus, et si la Terre tournait dans d'autres conditions autour de son axe, il aurait été beaucoup plus difficile d'édifier une dynamique. On peut conclure des résultats expérimentaux de Galilée pour un champ constant le principe de l'indépendance de l'effet du champ et du mouvement antérieurement acquis; quant au principe général de l'indépendance des forces, il ne faut l'énoncer qu'avec certaines réserves, car, comme M. Poincaré en a fait la remarque, les champs de force peuvent parfois influer les uns sur les autres. Dans une succession de champs constants et pour un même point matériel, les forces peuvent être définies, au point de vue dynamique, par les accélérations, et statiquement avec un dynamomètre; c'est l'expérience seulement qui nous apprend que ces deux définitions donnent des nombres proportionnels. La comparaison des éléments matériels, c'est-à-dire la définition de la masse, peut se déduire de l'expérience fondamentale d'après laquelle tous les corps tombent de la même manière dans un même champ constant et des mesures statiques des forces. Enfin, on passe aux forces variables par le procédé-limite habituel aux mathématiques, et l'on obtient alors l'équation fondamentale de la dynamique. Il faut, toutefois, bien comprendre son exacte signification et ne pas se payer de mots : cette équation n'a, dans chaque cas, d'intérêt qu'autant que des observations ou des expériences préliminaires, dont on généralise par une sorte d'induction les résultats, ont donné quelques renseignements sur la nature de la force.

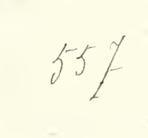
Sans aucun doute, les débuts de la mécanique exposés ainsi ou d'une manière similaire présentent un mélange de postulats et d'expériences plus ou moins précises, avec quelque peu d'anthropomorphisme.

Mais ce sont des inconvénients qu'on ne peut guère éviter si l'on veut rendre compte, dans ses grandes lignes, de la marche historique de la science. Qu'on n'aille pas prétendre que cela est inutile; en géométrie, dira-t-on, on ne commence pas par décrire les observations et les expériences faites par l'humanité préhistorique et qui ont été l'origine des postulats de la géométrie. On peut répondre que, dans la science de l'espace, ces expériences sont aujourd'hui, pour une raison ou une autre, tellement simples que chacun les fait sans y songer, tandis qu'il n'en va pas de même en mécanique où les choses sont autrement complexes. Il est possible évidemment de procéder en mécanique comme en géométrie; c'est ce que nous avons vu dans les expositions que j'ai appelées *déductives*, comme le système de Hertz. Mais des difficultés d'une autre nature se présentent, et les postulats fondamentaux placés au début paraissent singuliers à ceux devant qui on les énonce pour la première fois. Je ne sais ce que réserve l'avenir; la science entrera peut-être dans des voies que nous ne pouvons prévoir; mais il y a lieu d'espérer que l'étude des principes, qui tient aujourd'hui tant de place, aboutira à quelques résultats importants. Quelques savants pensent que le premier chapitre de la dynamique, telle que nous la construisons actuellement, je veux dire la dynamique du point matériel, devra probablement disparaître. La chose assurément est possible, mais je ne la crois pas très prochaine; car les hypothèses atomiques jouent encore et joueront peut-être toujours un rôle prépondérant dans maintes parties de la science. Plusieurs points de vue très différents peuvent d'ailleurs être conservés simultanément. Nous nous en rendrons bientôt compte en examinant les diverses tendances de la physique générale à notre époque.

II

DE L'EXPLICATION MÉCANIQUE DES PHÉNOMÈNES NATURELS.

C'était une idée chère aux cartésiens que toutes les transformations du monde physique se font d'après les lois de la mécanique. Quel est le sens exact de cette assertion, si toutefois elle en a un? La réponse



n'est pas facile et peut présenter quelque indétermination. Que doit-on entendre par explication mécanique d'un phénomène? Pour Hertz, un phénomène offert par un système sera susceptible d'explication mécanique, si le système fait partie d'un système libre convenablement choisi, et si son mouvement peut être déduit des postulats fondamentaux indiqués plus haut. Helmholtz et M. Poincaré adoptent une forme un peu différente; ils se reportent au système classique des équations de Lagrange en mécanique rationnelle. Ce système comprend des fonctions indéterminées, des paramètres et de leurs dérivées; si on peut les choisir de façon que les équations différentielles de Lagrange correspondent alors aux mouvements du système, il y aura pour ces mouvements une explication mécanique. De telles réponses restent bien abstraites et bien vagues si on ne les précise quelque peu; en fait, il est impossible d'obtenir des fonctions déterminées et de former par suite des équations différentielles, si une succession d'inductions, reposant sur des généralisations plus ou moins plausibles d'expériences simples, ne viennent apporter des renseignements indispensables. Dans quelle mesure maintenant est-il exact de dire, comme on l'a fait quelquefois, qu'une explication mécanique n'est autre chose qu'un système d'équations différentielles? On peut, une fois celui-ci obtenu, rejeter l'échafaudage qui a servi à former le système et chercher à tirer de ce système, avec les ressources de l'analyse mathématique, la coordination des faits connus et à faire des prévisions qui sont le but suprême de la théorie et la marque de sa fécondité. Mais il arrive maintes fois que quelque fait nouveau vient montrer l'insuffisance de l'explication adoptée; il faut alors compléter par l'addition de quelque terme les relations différentielles, et il est le plus souvent nécessaire d'inspecter de nouveau l'échafaudage primitif pour pouvoir faire utilement les corrections dans la construction définitive. Si donc on peut accorder que la forme dernière d'une théorie consiste dans un système d'équations différentielles, il est indispensable de ne pas oublier, cependant, les idées qui ont servi à le former.

Revenons enfin à la question : Tout phénomène est-il susceptible d'une explication mécanique? Sur une question posée d'une manière si générale, la réponse est difficile, pour ne pas dire impossible. Les

avis sont partagés, et c'est surtout dans l'étude des phénomènes calorifiques qu'apparaissent les divergences d'opinion. L'explication mécanique du principe de Carnot présente, comme on sait, de grandes difficultés. Clausius, le premier, a essayé une telle explication, et ensuite Helmholtz, dans ses mémorables recherches sur le principe de la moindre action, pensait y avoir réussi; depuis lui, M. Boltzmann a cherché à lever certaines objections faites à Helmholtz. L'idée essentielle d'Helmholtz consiste dans l'hypothèse de mouvements cachés; les variables, d'après lui, peuvent être partagées en deux catégories : les unes nous sont accessibles, les autres nous sont inconnues et correspondent à des mouvements cachés. En faisant certaines hypothèses, on arrive, pour les variables accessibles, à des relations différentielles d'une tout autre forme que les équations de la mécanique classique, et c'est ainsi qu'on peut rendre compte de la dissipation de l'énergie. M. Boltzmann, qui paraît avoir serré la question de beaucoup plus près qu'Helmholtz, fait une distinction entre les mouvements ordonnés et les mouvements non ordonnés; pour lui, l'augmentation de l'entropie correspond à l'accroissement des mouvements non ordonnés par rapport aux mouvements ordonnés. M. Poincaré, à la fin de sa *Thermodynamique,* considère comme insuffisantes les tentatives d'Helmholtz et pense plutôt qu'il est des phénomènes non susceptibles d'explication mécanique. Je me garderai bien, pour ma part, de formuler une réponse sur une question qui me paraît trop vague. Pourquoi supposer qu'il n'y a d'explication mécanique que celle qui cadrerait avec les équations de Lagrange? Ne pourrait-on pas adopter un point de vue plus compréhensif, et alors n'est-on pas menacé de tomber dans une querelle de mots?

Nous venons de nous placer à un point de vue analytique et abstrait; en restant dans le même ordre d'idées, on peut donner quelquefois une forme plus concrète à ces considérations. Supposons que deux phénomènes différents conduisent au même système de relations différentielles; ils sont alors les modèles l'un de l'autre, et pour une même catégorie de phénomènes, il peut y avoir plusieurs modèles. Remarquons d'une manière générale que les images que notre esprit se forme des choses sont des modèles de ces choses; ainsi, dans un

système où il y a des masses cachées, c'est-à-dire inaccessibles à l'observation, nous ne pouvons faire autre chose que de créer pour lui des modèles sans pouvoir effectivement atteindre la réalité. L'accord entre l'esprit et la nature est, dans cet ordre d'idées, comparable à l'accord entre deux systèmes qui sont modèles l'un de l'autre.

Il semble alors que chacun soit libre de chercher des modèles différents. Il est bien vrai, en raison même de l'indétermination du problème, que les modèles peuvent être variés dans une certaine mesure; mais l'histoire de la science montre, cependant, que cette variété est très limitée. Il faut en effet que nos représentations soient *simples*, et, en restant dans le mécanisme pur, nous avons une tendance à revenir toujours à ces conceptions atomiques et moléculaires qui ont joué un rôle fondamental dans la physique au XIX[e] siècle. Sans vouloir faire l'histoire complète des idées dans cette question des représentations mécaniques, il me faut dire ici quelques mots d'une représentation très spéciale, chère à l'école anglaise, où le modèle est construit avec les mécanismes les plus usuels. Maxwell a construit d'ingénieux appareils où se manifestent diverses analogies avec les phénomènes électriques et où, par exemple, l'induction apparaît comme due à l'inertie de certaines masses. Lord Kelvin, surtout, a été très loin dans cette voie, et il a même écrit qu'il n'était satisfait que quand il avait pu faire un modèle mécanique; c'est ainsi qu'avec des solides rigides il réalise des effets élastiques, grâce à des mouvements de rotation, et arrive à effectuer des représentations de l'éther. L'extrême complication de plusieurs de ces modèles, où on voit figurer des gyroscopes et des renvois de sonnette, choque les esprits habitués à voir les choses d'un point de vue analytique. Il est clair que, si l'on avait la prétention de saisir ainsi la réalité, il y aurait là quelque chose d'étrange. Du moment qu'il ne s'agit que d'images, il n'y a pas à s'étonner que les avis diffèrent sur le degré de simplicité de telle ou telle représentation; les renvois de sonnette de Lord Kelvin ont leur philosophie.

III

LA SCIENCE DE L'ÉNERGIE.

Nous venons de voir les difficultés que l'on rencontre quand on veut préciser la notion d'explication mécanique des phénomènes naturels. Quoi qu'il en soit de ces difficultés, le désir impérieux de chercher de telles explications a été, pour le développement de la science, un stimulant d'une très grande fécondité; nous nous en rendrons compte quand nous jetterons un coup d'œil sur les progrès récents de l'optique et de l'électricité. On se priverait incontestablement d'une arme puissante en renonçant à ces tentatives d'explications mécaniques qui ont rendu tant de services. Il faut, toutefois, reconnaître que, dans plusieurs cas, les contradictions et les bizarreries de quelques théories ont amené une sorte de découragement, et que les savants d'aujourd'hui n'ont plus, à ce point de vue, l'enthousiasme des physiciens géomètres de la première moitié du siècle dernier. Il a pu même paraître à quelques-uns qu'il était étrange d'expliquer le connu par l'inconnu, le visible par l'invisible, d'imaginer par exemple, comme on l'a dit, un éther que nul œil humain ne verra jamais. Une telle accusation est justifiée, si on prend le mot d'explication dans le sens où il a été longtemps employé; mais elle perd de sa force si on ne cherche dans une explication qu'une image utile et féconde, et si on n'a pas la prétention d'atteindre la réalité, comme je le disais plus haut. La science peut suivre à la fois des voies diverses, et la multiplicité des points de vue est non seulement légitime, mais indispensable.

Ceci dit, certaines lois ou hypothèses physiques, qui ne sont que la généralisation de faits observés, jouent aujourd'hui un rôle essentiel; elles ont pour objet d'établir des relations numériques définies entre des grandeurs directement mesurables. Parmi ces lois, celles de l'énergétique sont fondamentales dans la science de notre époque. La thermodynamique a été, en quelque sorte, l'embryon de l'énergétique, qui la comprend comme cas particulier; deux noms dominent la ther-

modynamique, ceux de Mayer et de Carnot, et des deux le plus grand est assurément celui de Sadi-Carnot, précurseur prodigieux qui, par ses vues géniales, devança considérablement son temps. La fécondité, dans toutes les parties de la physique, du principe de la conservation de l'énergie a été surtout mise en évidence par Helmholtz et par William Thomson, mais il faut bien avouer que ce principe si fécond ne peut être énoncé d'une manière générale. Dans chaque cas particulier on est amené à définir ce que l'on entend par énergie : c'est ainsi qu'on distingue les énergies mécanique, calorifique, électrique, chimique, radiante, etc., énergies qui se présentent, en général, sous la forme d'un produit de deux facteurs. Avec les formes d'énergie jusqu'ici cataloguées, si je puis dire, le principe de la conservation est vérifié pour tous les phénomènes connus, et le fait que l'on a eu seulement besoin d'introduire un nombre très limité de formes d'énergie constitue la grande importance de cette loi fondamentale. On ne doit cependant pas se dissimuler qu'on devra peut-être un jour introduire d'autres formes d'énergie, et alors en un certain sens on pourrait être tenté de regarder le principe de la conservation de l'énergie comme une définition; mais il est clair que si, pour satisfaire à cette définition, il fallait envisager un trop grand nombre de formes d'énergie, le principe cesserait d'exister pour le physicien qui n'en pourrait rien tirer. Quoique nos idées sur la conservation de l'énergie aient leur origine historique dans le théorème des forces vives de la mécanique rationnelle, ces premiers points de vue sont généralement abandonnés aujourd'hui. L'expérience reste le seul guide dans cette question pour chaque forme d'énergie. Il y a un équivalent mécanique de la chaleur, mais il n'y a pas d'équivalent de l'électricité, car la même quantité d'électricité produit, suivant les circonstances, un travail très différent; il y a, par contre, un équivalent mécanique de l'énergie électrique.

Pour toute une école de savants, l'énergie n'est pas seulement une conception abstraite sans existence réelle; elle a pour eux, comme la matière, plus peut-être que la matière, une existence objective, et nous ne pouvons ni la créer ni la détruire. De l'équivalence des différentes formes de l'énergie on ne doit d'ailleurs pas conclure à leur

identité. Le déplacement de l'énergie est la condition essentielle de l'existence des phénomènes; or toutes les formes connues de l'énergie ont une tendance à se transformer en énergie calorifique, qui se présente comme la forme la plus stable. Ainsi, on peut transformer entièrement du travail mécanique en chaleur versée dans une même source, mais il n'est pas possible de réaliser la transformation inverse. D'abord, le principe de Carnot nous apprend qu'une certaine quantité de chaleur ne peut abandonner une source pour se transformer entièrement en travail, ce qui suffit déjà à montrer dans la chaleur une forme inférieure de l'énergie; toutefois, si la transformation est réversible, il y a une sorte de compensation puisque, si une partie de l'énergie est dégradée, une autre se trouve élevée. Mais, quand la transformation est irréversible, il y a une dégradation définitive sans compensation. Ainsi, dans un système soustrait à toute action extérieure et passant par voie irréversible d'un état à un autre, la quantité d'énergie est bien constante, mais la quantité d'énergie utilisable pour produire du travail diminue : la *qualité* de l'énergie a diminué. Un tel résultat est produit par le frottement qui rend une transformation irréversible, par des chutes de chaleur par conductibilité ou rayonnement entre les diverses parties du système, par la résistance des conducteurs dans la propagation de l'électricité, par l'hystérésis dans les phénomènes magnétiques, etc.

On sait quelles conclusions philosophiques Clausius et William Thomson ont déduites par une gigantesque extrapolation de la loi de la dégradation de l'énergie. Il est peut-être exagéré de déduire de principes expérimentaux, dont les vérifications sont bien limitées, des vues générales sur l'avenir de l'Univers. Disons seulement que la thermodynamique autorise à penser que l'Univers marche fatalement dans un sens déterminé, les énergies utilisables s'usant incessamment. Des êtres aux facultés plus aiguisées que les nôtres pourraient-ils s'opposer à cette dissipation de l'énergie? C'est une question qu'on ne pose que pour rappeler le petit démon de Maxwell qui pouvait suivre les molécules dans leurs courses.

Cette dégradation est-elle compatible avec une explication mécanique? C'est un point que j'ai touché plus haut et sur lequel il semble

difficile de faire une réponse définitive. Elle est négative, comme je l'ai dit, pour M. Poincaré et aussi pour M. Lippmann et beaucoup de physiciens. Au contraire, M. Helmholtz et M. Boltzmann, pour qui le principe de Carnot correspond au principe de la moindre action, sont pour l'affirmative. Si des tentatives comme celles d'Helmholtz et de Boltzmann sont d'un grand intérêt pour les géomètres, il faut reconnaître que les physiciens s'en désintéressent généralement aujourd'hui. Pour beaucoup d'entre eux, les équations de la physique sont des relations quantitatives entre grandeurs qualitativement irréductibles. J'ai déjà écrit plusieurs fois le mot de qualité. Le principe cartésien que tout, dans le monde matériel, s'explique par l'étendue et le mouvement, serait-il abandonné aujourd'hui? Il semble que oui, au moins partiellement; on ne peut douter, par exemple, que l'énergie n'ait des qualités diverses, quand on entend dire que la chaleur est une forme dégradée de l'énergie. Mais, si l'explication mécanique, au sens étroit et ancien du mot, est pour quelques-uns condamnée sans retour, il n'est pas impossible que la notion du mécanisme soit susceptible d'un sens plus large permettant de concilier les tendances les plus différentes.

La thermodynamique a été l'origine de l'énergétique; aussi celle-ci, à sa naissance, a-t-elle été envahie par un certain nombre de points de vue spéciaux à la thermodynamique, et règne-t-il encore aujourd'hui quelque confusion dans l'exposition des principes généraux de l'énergétique. Depuis quelques années, à la suite des travaux de M. Gibbs et de Helmholtz, le rôle d'une fonction importante, le potentiel thermodynamique, a été mis en lumière par divers physiciens, parmi lesquels je dois citer tout particulièrement M. Duhem. Ce potentiel thermodynamique donne la mesure de ce que Carnot appelait la puissance motrice. En France M. Le Chatelier, en Allemagne MM. Meyerhofer et Ostwald reprennent aujourd'hui les points de vue de Carnot en partant de la notion de la puissance motrice qui leur apparaît comme une réalité concrète. Une définition générale est sans doute ici impossible comme pour l'énergie, mais, dans chaque cas particulier, on reconnaît que, si deux systèmes de corps sont en présence, il y a échange d'une certaine propriété qui est perdue par l'un des

systèmes et gagnée par l'autre, celle de pouvoir se transformer directement, soit isolément, soit en provoquant dans un autre système une transformation inverse; c'est cette propriété qu'on appelle la puissance motrice. On peut énoncer à ce sujet quelques lois générales. On a d'abord la loi de conservation de la capacité de puissance motrice d'après laquelle, dans toute dépense de puissance motrice, il y a une fonction de changements corrélatifs de même nature qui reste constante, fonction que fait connaître l'expérience; il n'en est pas ainsi, toutefois, pour la chaleur, qui constitue une exception parmi les diverses espèces de puissance motrice. Une seconde loi de l'énergétique consiste dans l'impossibilité de créer de la puissance motrice sans en dépenser ailleurs : elle est la généralisation de l'impossibilité du mouvement perpétuel. Enfin, d'après une troisième loi générale, il est impossible de détruire de la puissance motrice sans créer de la chaleur : c'est, au fond, la loi de Joule. On comprend d'ailleurs que les principes expérimentaux auxquels on rattache les lois générales de l'énergétique puissent être choisis de différentes façons, et à cet égard les intéressants travaux de M. Mouret et du commandant Ariès méritent d'être cités.

Il importe aussi de prévenir toute illusion sur le degré d'utilité à tirer des lois générales de l'énergétique. Leur utilité est en quelque sorte qualitative, elle consiste à prévoir le sens d'un phénomène et à déduire d'une première loi trouvée expérimentalement une proposition réciproque; par exemple, de l'électrisation des cristaux hémièdres par compression, M. Lippmann déduit la déformation des cristaux produite par l'influence électrique. Mais, pour avoir des évaluations quantitatives, il faudra faire intervenir des lois spéciales aux phénomènes étudiés; ce n'est qu'ainsi que la science de l'énergie peut être féconde. Nous en verrons de nombreux exemples en analysant les principaux chapitres de la physique, de la chimie et de la physico-chimie.

Nous pensons avoir montré dans ce chapitre les deux principales tendances entre lesquelles se partagent aujourd'hui les savants qui étudient la nature inanimée. Elles sont radicalement opposées dans leur esprit, mais pratiquement il y a entre elles bien des ponts, et, dans la recherche, le partisan le plus convaincu de l'énergétique pu-

rement expérimentale n'hésite pas à se faire parfois certaines représentations, dont le caractère est en désaccord avec ses propres idées. Cela est fort heureux; ce n'est qu'en adoptant des points de vue divers, quelquefois opposés, que les sciences progressent. Ne mutilons pas l'esprit humain dans la tâche immense qu'il a à accomplir.

CHAPITRE III.

LA PHYSIQUE DE L'ÉTHER.

I

L'OPTIQUE.

Nous allons examiner rapidement quelques-uns des travaux les plus importants se rapportant aux diverses parties de la physique et de la chimie. Commençons par l'optique et l'électricité, où des découvertes inattendues sont venues, dans ces derniers temps, frapper l'attention des personnes les plus étrangères aux progrès des sciences. Nous plaçant ici à un point de vue général et philosophique, nous ne pouvons songer à entrer dans les détails et nous devons surtout insister sur les idées générales concernant la philosophie naturelle, auxquelles conduit l'ensemble des faits observés. L'optique et l'électricité sont la physique de l'éther. On sait que les physiciens considèrent la lumière comme un ébranlement périodique d'un milieu élastique, l'éther, qui remplit l'espace et pénètre les corps. Cette image d'un milieu rentrant dans la catégorie des masses cachées dont nous parlions avec Helmholtz et Hertz, rend bien compte de la grande majorité des phénomènes observés, et si, en quelques points, des difficultés subsistent, l'ensemble de la théorie élastique n'en forme pas moins un admirable monument. La lumière visible correspond à des vibrations dont le nombre varie, quand on passe de l'infra-rouge au violet extrême, entre quatre cents et huit cents trillions de fois par seconde; la longueur d'onde d'une radiation déterminée la définissant complètement et demeurant toujours identique à elle-même, on a tout naturellement pensé à en faire un étalon de longueur. Son seul inconvénient est son extrême petitesse, et il a fallu une grande ingéniosité, pour évaluer le mètre en longueur d'onde, à M. Michelson qui a effectué ce beau travail au Bureau international des poids et mesures.

On a été longtemps avant de produire des ondes lumineuses sta-

tionnaires analogues à celles que présentent, par exemple, en acoustique, les tuyaux sonores; c'est en cherchant la solution de ce problème que M. Lippmann a pu effectuer la photographie des couleurs. Dans un ordre d'idées plus théorique, la même question a permis à M. Wiener de montrer que, dans un rayon polarisé, la direction des vibrations lumineuses est perpendiculaire au plan de polarisation, si toutefois on admet, comme l'a fait remarquer M. Poincaré, que l'impression photographique résulte de la force vive du mouvement vibratoire de l'éther, en se laissant guider par l'analogie avec l'acoustique. L'éther, qui remplit le vide, pénètre aussi l'intérieur des corps, et ce n'est pas une des moindres difficultés de la théorie que de se rendre compte des propriétés de ce milieu élastique à travers lequel se meuvent les corps célestes. L'étude des phénomènes optiques dans les corps en mouvement a fait l'objet de recherches délicates qui ne sont pas définitives. Pour expliquer l'aberration de la lumière en astronomie, il faut supposer qu'il y a un entraînement partiel de l'éther par la matière. Les vues théoriques de Fresnel, à ce sujet, ont été confirmées par une expérience mémorable de Fizeau, reprise récemment avec succès en Amérique. On s'est demandé si le mouvement de translation de la terre pouvait être mis en évidence au moyen de phénomènes optiques réalisés à la surface terrestre; les résultats ont été négatifs au moins aux termes près du carré de l'aberration. Il est à souhaiter que de nouvelles expériences viennent apporter des renseignements plus précis sur cette question d'un grand intérêt théorique.

L'optique classique des radiations lumineuses a fait, depuis vingt ans, des progrès importants. Les procédés d'observation ont acquis une précision merveilleuse. Il est maintes fois arrivé à l'homme de génie de faire les plus fécondes découvertes avec les plus petits moyens; on le verra sans doute encore, mais cependant, dans les parties de la science déjà beaucoup élaborées, la perfection des procédés d'observation jouera désormais un rôle de plus en plus considérable. En spectroscopie, par exemple, l'âge héroïque de Kirchoff et Bunsen est déjà loin; il faut avoir recours aux réseaux de diffraction et aux spectroscopes à échelons pour séparer les composantes très rap-

prochées d'une raie multiple. MM. Cornu, Rowland, Michelson, Perrot et Fabry ont réalisé dans cette technique des progrès considérables.

Une raie du spectre est caractérisée par sa longueur d'onde dans le vide. Existe-t-il des circonstances qui puissent modifier cette longueur d'onde et, par suite, la durée de la vibration. On obtient une modification apparente de la longueur d'onde dans ce que l'on appelle l'effet Döppler-Fizeau; il consiste dans un changement de longueur d'onde observé lorsque la distance de la source à l'observateur change rapidement. Dans le cas des ondes sonores, cet effet est facile à constater, le sifflet d'une locomotive nous paraissant rendre un son plus aigu quand on s'en approche, et plus grave quand on s'en éloigne. Dans le cas des ondes lumineuses, on a au spectroscope un déplacement de raie; les observations faites en astronomie sur les spectres des astres ont permis d'utiliser le principe précédent. On a pu ainsi obtenir les composantes de la vitesse de certains astres dans la direction du rayon visuel, et nous avons dit précédemment le rôle important que joue aujourd'hui cette méthode en astronomie. Il ne s'agit dans tout ceci que d'un changement apparent dans la longueur d'onde; en parlant tout à l'heure de la belle découverte faite récemment par M. Zeemann, nous aurons un exemple d'un changement réel.

L'éther transmet autre chose que la lumière. Au commencement du siècle dernier on découvrait les rayons calorifiques ultra-rouges et peu après les rayons ultra-violets capables d'agir sur certains composés chimiques. Chacune de ces radiations, dans le vide ou dans l'air, est caractérisée, comme nous l'avons dit, par sa longueur d'onde, c'est-à-dire l'espace parcouru par l'onde pendant la durée d'une période vibratoire. Ces longueurs sont extrêmement petites ; pour les rayons visibles, elles varient de $0^{\mu}734$ pour le rouge extrême et $0^{\mu}396$ pour le violet extrême, en désignant par μ le micron ou millième de millimètre. Un phénomène capital est la dispersion : il consiste en ce qu'un rayon lumineux ou calorifique pénétrant dans un corps transparent est dévié. L'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde; ceci montre que, contrairement à ce qui se passe dans le vide, la vitesse

de propagation dans le corps n'est pas la même pour toutes les vibrations. C'est là un point extrêmement important et qui tient à l'action de la matière pondérable sur l'éther. On a proposé, au sujet de cette action, diverses hypothèses donnant lieu à autant de théories de la dispersion, qui ont conduit à des relations entre l'indice de réfraction et la longueur d'onde prise soit dans le vide, soit dans le corps considéré, relations que l'expérience vérifie dans des intervalles plus ou moins larges. Les théories les plus satisfaisantes sont celles d'Helmholtz et de M. Boussinesq; elles rendent notamment bien compte des divers types de dispersion anormale.

Parmi les radiations ultra-violettes, les plus courtes mesurées jusqu'ici correspondent à 0^{μ} 100. Le spectre infra-rouge a surtout fait, dans ces vingt dernières années, l'objet de travaux nombreux. Pour pénétrer très avant dans l'étude de ces grandes longueurs d'onde, il faut recourir à l'observation de l'action calorifique. MM. Desains et Curie avaient déterminé la dispersion d'un prisme de sel gemme jusqu'à la longueur d'onde 7 μ et, en isolant, au moyen d'un diaphragme, une série de raies du spectre infra-rouge, mesuré la longueur d'onde de chacune d'elles avec un réseau et une pile thermo-électrique. M. Langley a poussé beaucoup plus loin ses recherches, en employant un instrument d'une merveilleuse sensibilité, le bolomètre; il a été possible d'aller ainsi jusqu'à des longueurs d'onde de 22 μ. La séparation des rayons calorifiques de grande longueur d'onde au moyen de la réflexion métallique a permis à M. Rubens d'aller plus loin encore, et la carte géographique de l'infra-rouge a pu être poussée jusqu'à des longueurs d'onde de 70 μ. Il semble que ce soit, pour le moment du moins, la limite extrême des grandes longueurs d'onde auxquelles on soit parvenu en optique. Nous allons rencontrer bientôt en électricité des longueurs d'onde considérables, mais les plus courtes d'entre elles ne rejoindront pas encore les plus grandes radiations de l'infra-rouge.

II

L'OPTIQUE ET L'ÉLECTRICITÉ.

La lumière et l'électricité sont restées longtemps deux domaines entièrement distincts. Le génie du grand physicien anglais Maxwell sut établir un rapprochement entre ces deux régions de la science. Maxwell repousse, comme Faraday, toute action à distance. Pour lui, tout corps électrique ou magnétique agit seulement sur les parties qui l'avoisinent immédiatement d'un milieu remplissant l'espace; ces actions se transmettent de proche en proche jusqu'à un autre corps. Dans cette théorie, les isolants ou diélectriques jouent un rôle prépondérant; ils sont pénétrés par un fluide élastique hypothétique, analogue à l'éther, qui, en optique, transmet les radiations lumineuses. Maxwell est amené ainsi à étudier comment se propagent les perturbations provenant des variations périodiques d'un champ magnétique. En s'appuyant sur les lois connues de l'électricité et du magnétisme, et sur quelques hypothèses complémentaires, il trouve que les perturbations électromagnétiques doivent se propager avec une vitesse égale au rapport des unités absolues électrostatique et électromagnétique, et l'expérience lui montre que cette vitesse est celle de la lumière. Il est naturel alors de regarder comme identiques l'éther et le fluide que l'on suppose présider aux actions électromagnétiques, et d'envisager la lumière comme un phénomène électromagnétique résultant des perturbations d'un champ magnétique : c'est la théorie électromagnétique de la lumière. Dans cet ordre d'idées, une onde lumineuse est produite par une suite de courants alternatifs qui se propagent par induction dans le vide ou dans les diélectriques et qui changent de sens un nombre immense de fois par seconde. Nous ne pouvons, d'ailleurs, nous faire aucune idée du procédé par lequel est entretenue, dans un corps lumineux, cette perturbation magnétique excessivement rapide.

Les vues géniales de Maxwell devaient conserver longtemps un caractère hypothétique; dans aucune expérience, on n'avait jamais mis

en évidence la propagation d'une onde électromagnétique. C'est en 1888 que le physicien Hertz réalisa les expériences, à jamais mémorables, sur la propagation des ondes appelées aujourd'hui ondes hertziennes, en utilisant les décharges oscillantes d'un condensateur comme source de courants alternatifs à périodes extrêmement courtes. Depuis Hertz, enlevé à la science par une mort prématurée, dans tout l'éclat de son talent, de nombreux expérimentateurs ont apporté d'importants perfectionnements à ses méthodes. Il est d'un grand intérêt d'obtenir des longueurs d'onde le plus courtes possible dans une perturbation électromagnétique. On est arrivé à des longueurs d'onde de 6 millimètres, ce qui correspond à 50 milliards de vibrations par seconde. Nous sommes encore loin du nombre de vibrations correspondant aux rayons du spectre visible; il suffirait cependant de multiplier le nombre précédent par 10,000 pour obtenir un nombre de vibrations impressionnant la rétine et correspondant à la couleur orangée du spectre. En multipliant par 100, on rejoindrait à peu près les radiations que nous avons rencontrées tout à l'heure en parlant du spectre infrarouge.

On a élargi le nouveau champ d'études pour voir si l'analogie entre les deux ordres de phénomènes électrique et optique se poursuivait. Ainsi est née une sorte d'optique des oscillations électriques, dans laquelle on a cherché à imiter avec les radiations électriques les phénomènes depuis longtemps connus pour les radiations lumineuses, les uns et les autres ne différant, au point de vue de Maxwell et de Hertz, que par la longueur des périodes. On doit s'attendre à ce que plus la longueur d'onde des oscillations électriques sera petite, plus l'imitation sera satisfaite. Il en a bien été ainsi dans les nombreuses expériences faites depuis dix ans; interférences, réfraction et réflexion, diffraction, double réfraction se retrouvent comme dans l'optique de la lumière. Dans les expériences électriques, les corps conducteurs et les électrolytes jouent, en général, le rôle des corps opaques en optique, et les corps isolants sont les analogues des corps transparents; ainsi, les métaux arrêtent comme un écran les ondulations électriques, au moins celles d'assez courtes périodes. Tous ces résultats paraissent confirmer l'identité entre les phénomènes lumineux et certains phé-

nomènes électriques; ils sont d'une importance philosophique capitale.

Nous avons donc, en résumé, pour la lumière deux théories : une théorie élastique et une théorie électrique. Ces théories apparaissent comme bien différentes dans leurs points de départ; cependant, si, du moins, nous nous bornons à un milieu diélectrique et non magnétique, les équations différentielles traduisant analytiquement les phénomènes sont identiques. Les grandeurs qui y figurent n'ont évidemment pas la même signification. Dans la théorie élastique, tel vecteur représentera la vitesse d'une molécule d'éther, tandis que, dans l'autre théorie, il représentera la force électrique. Pour employer le langage dont nous nous sommes servi dans le chapitre précédent, nous pouvons dire que nous avons là deux *images* différentes, et cet exemple vient à l'appui de ce que nous avancions sur la possibilité d'images diverses pour expliquer une même catégorie de phénomènes.

A un point de vue purement électrique, on doit remarquer que les manifestations mises en jeu par les perturbations hertziennes sont très spéciales. Ainsi, les courants continus se propagent le long d'un fil d'une tout autre manière que les perturbations de périodes extrêmement courtes; ce n'est que pour celles-ci que la vitesse de transmission est égale à la vitesse de la lumière, comme le montrent les belles expériences de M. Blondlot. Il s'en faut que tous les phénomènes électriques puissent être regardés comme résultant des mouvements de l'éther; il y a là encore de très sérieuses difficultés.

Une application des perturbations hertziennes appelle aujourd'hui vivement l'attention, je veux parler de la télégraphie sans fil. Son point de départ a été une découverte faite par M. Branly : un tube renfermant de fines limailles métalliques est rendu conducteur quand on vient à produire dans son voisinage une ou plusieurs décharges électriques, et la limaille reprend sa résistance primitive quand on donne au tube une petite secousse. De la conductibilité intermittente des radio-conducteurs de M. Branly, MM. Marconi et Popof ont tiré la télégraphie sans fil, remarquable exemple, après tant d'autres, d'une application pratique, conséquence de spéculations, comme celles de Maxwell, dont le caractère au début avait été uniquement théorique.

On peut dire de la télégraphie sans fil qu'elle est une télégraphie optique; seulement, les ondes, au lieu d'être extrêmement courtes, ont les longueurs relativement considérables signalées plus haut.

Nous avons parlé plus haut de l'effet Döppler-Fizeau, qui constitue un changement apparent dans la longueur d'onde d'une source lumineuse en mouvement. On se préoccupe depuis longtemps de trouver des circonstances qui modifient réellement la longueur d'onde d'une source de lumière. Faraday espérait les trouver en faisant agir le magnétisme; dans son expérience classique, la direction de la vibration est modifiée, mais non sa lumière, et il en est de même dans les recherches relatives à la réflexion sur des métaux aimantés. Il était réservé à M. Zeemann d'établir, d'une façon irréfutable, l'existence d'une action directe du magnétisme sur l'émission lumineuse.

Ces belles expériences nous intéressent ici d'autant plus que leurs résultats essentiels avaient été prévus par une théorie qui tend aujourd'hui à prendre une place considérable en optique et en électricité, la théorie de M. Lorentz; j'en dois dire quelques mots pour avoir passé en revue les idées théoriques essentielles développées récemment en optique et en électricité. Pour M. Lorentz, l'électricité adhère à la matière, et les phénomènes électriques sont dus à certaines petites masses matérielles très ténues et chargées d'électricité; il appelle ces petits corps des *ions* ou *électrons*. En électricité, les mouvements des ions expliquent les courants électriques dans les conducteurs, résultat en accord avec les expériences de Rowland qui a reconnu que le transport mécanique d'une charge électrostatique équivaut à un courant dirigé dans le sens du mouvement[1]; dans les diélectriques, au contraire, les ions ne peuvent s'écarter que peu de leurs positions d'équilibre. Pour la lumière, il existe dans chaque molécule rayonnante une ou plusieurs particules capables de vibrer autour d'une position moyenne; les ions,

[1] Depuis que ces lignes sont écrites, un travail de M. Crémieu met en question les expériences de M. Rowland. M. Crémieu, dans les circonstances où il opère, ne trouve pas que le transport d'une charge électrostatique soit équivalent à un courant électrique. Si le fait pouvait être énoncé d'une manière générale, il serait gênant pour les théories qui paraissent aujourd'hui les mieux fondées.

ainsi vibrants, doivent donner lieu à des ondes électromagnétiques qui se propagent.

Des phénomènes d'une autre nature, comme la décharge électrique dans les gaz raréfiés dont nous allons bientôt parler, viennent, dans une certaine mesure, à l'appui de l'hypothèse des ions. Or M. Lorentz a pu prévoir, dans le cas le plus simple, le phénomène observé par M. Zeemann, où le magnétisme agissant sur une source lumineuse monochromatique vient la modifier dans la durée de sa période et la polariser. D'après la théorie élémentaire, à la place d'une raie unique doivent apparaître, suivant la direction dans laquelle on observe, un doublet ou un triplet de raies. C'est ce qu'a montré l'expérience dans un grand nombre de cas; à la vérité, il y a parfois, comme l'a trouvé M. Cornu, un quadruplet, et les vues théoriques ont dû être un peu élargies, mais le phénomène de M. Zeemann n'en reste pas moins un mémorable exemple d'un fait d'une importance capitale annoncé d'abord par la théorie.

A un point de vue plus général, les idées de M. Lorentz appelleraient bien des réflexions. Au premier abord, elles ont quelque chose d'un peu singulier par la manière dont elles matérialisent l'électricité : la théorie de M. Lorentz est beaucoup plus que celle de Maxwell et Hertz une tentative d'explication mécanique. Il semble qu'elle explique certains phénomènes optiques dont ne rend pas compte l'autre théorie. Mais, pour le moment, il y a lieu de les conserver toutes deux; suivant les cas, l'une ou l'autre peut être utile à invoquer. Pendant longtemps encore, dans cette physique de l'éther, quand on tentera d'entrer dans le mécanisme des phénomènes, il sera utile d'avoir à sa disposition plusieurs systèmes d'images.

III

LES NOUVEAUX RAYONNEMENTS.

L'optique, prise dans son sens le plus large, ne s'est pas seulement augmentée récemment des rayons hertziens. D'autres rayonnements sont encore venus s'ajouter à ceux que nous connaissions déjà : leur

étude a été singulièrement féconde et a conduit aux applications les plus curieuses et aux plus étranges conséquences théoriques. On savait, depuis les travaux de Crookes, que les décharges électriques, passant dans l'atmosphère suffisamment raréfiée d'une ampoule de verre, provoquent à la cathode une émission de rayons dits *cathodiques*, reconnaissables à la lumière qu'ils excitent en frappant diverses substances, déviables à l'approche d'un aimant et, par là, différant *a priori* de tous les rayons lumineux connus. Dans ces dix dernières années, les recherches sur les rayons cathodiques se sont multipliées ; elles ont amené indirectement à la découverte des rayons Röntgen, puis à celle des rayons Becquerel. Une première observation fut que les rayons cathodiques peuvent trouver des couches de matière suffisamment minces, telles qu'une mince feuille d'aluminium recouvrant une petite ouverture pratiquée dans la paroi de l'ampoule de Crookes, comme l'a remarqué M. Lenard. Les rayons continuent à se propager dans l'atmosphère extérieure, tout en étant fortement diffusés, et ils déchargent rapidement les conducteurs électrisés, propriété jusqu'alors inconnue. En outre, la propagation se fait dans un gaz d'autant plus loin que celui-ci est plus léger et plus raréfié.

Quelle est la nature des rayons cathodiques? Le fait que le milieu gazeux nécessaire au passage des décharges électriques et à l'excitation des rayons cathodiques est non seulement inutile, mais encore nuisible à la propagation de ces rayons, devait nécessairement amener une comparaison entre ces rayons et les rayons lumineux. Les physiciens allemands, à la suite de Hertz, regardèrent les rayons cathodiques comme un mode d'ondulation de l'éther lumineux. Mais, en présence de cette théorie d'*ondulation*, se trouvait la théorie d'*émission* de l'École anglaise. Crookes, étudiant jadis les actions mécanique et calorifique des rayons cathodiques, avait admis que ces actions sont dues à un bombardement formé de la matière du gaz raréfié sous un état spécial : c'est l'état radiant. La matière radiante est, pour Crookes, formée de particules animées d'une très grande vitesse et électrisées négativement.

La théorie d'émission a eu le mérite de faire prévoir notamment l'électrisation négative des rayons cathodiques, propriété capitale dé-

montrée nettement par M. Perrin; elle permet de comprendre l'existence et le sens de la déviation magnétique des rayons cathodiques qui se comportent, en effet, dans ce phénomène comme le ferait un courant. Pour arriver à déterminer la vitesse des rayons, M. J.-J. Thomson interprète la déviation magnétique ou électrique de ces rayons en supposant que le flux d'électricité cathodique est formé de particules matérielles électrisées négativement. La théorie, développée suivant ce principe, permet de calculer la vitesse de propagation des rayons cathodiques d'après les valeurs observées des déviations magnétique et électrique de ces rayons. Cette vitesse est d'autant plus grande que les rayons sont moins déviés par l'aimant et atteint dans les expériences actuelles jusqu'au tiers de la vitesse de la lumière. Mais cette formidable vitesse du bombardement cathodique anime seulement une masse qui, d'après les mêmes expériences interprétées par la même théorie, est seulement la millième partie environ de la masse d'hydrogène capable, dans l'électrolyse, de transporter la même quantité d'électricité que les rayons cathodiques. Un point extrêmement important est que le rapport de la charge à la masse de la particule électrisée en mouvement est constant, c'est-à-dire indépendant de la nature du gaz, et il en est de même de la vitesse des particules pour un même potentiel de décharge. Il semblerait donc établi que les phénomènes cathodiques sont les mêmes dans tous les gaz, et, par suite, que les particules cathodiques sont constituées par une matière unique ayant, dans ces conditions, un équivalent électrochimique mille fois plus petit que l'hydrogène Ces conséquences et bien d'autres ont été découvertes grâce au mouvement d'idées produit par la théorie d'émission de l'École anglaise, généralement acceptée en France, où elle a provoqué les importantes recherches de M. Perrin et de M. Villard. Ainsi, la théorie d'émission triomphe pour le moment, puisqu'elle se montre d'une grande fécondité. Quant à la théorie ondulatoire, doit-elle être rejetée définitivement? Il serait imprudent de l'affirmer, mais, pour qu'elle redevienne utile, il faudrait imaginer quelque mode nouveau de perturbation de l'éther correspondant au transport des charges négatives et rendre compte de l'inertie de mouvement des rayons cathodiques par l'inertie de l'électricité elle-même.

Quelques-uns des résultats précédents sont bien singuliers; on en a tiré des conséquences plus étranges encore. Des considérations indiquées ci-dessus, résulte que la masse d'une particule cathodique est très petite, environ la millième partie de la masse de l'atome d'hydrogène. M. J.-J. Thomson a été ainsi conduit à esquisser quelques vues générales sur la constitution de la matière. On a, dans l'état radiant, un nouvel état de la matière. Tandis que, dans l'état ordinaire, les molécules ont des masses variables avec la nature de la substance, les corpuscules de la matière radiante ont une masse invariable, de quelque substance qu'ils proviennent, cette masse étant le millième de celle d'un atome d'hydrogène; de plus, chacun de ces corpuscules porte une charge d'électricité négative. Pour M. J.-J. Thomson, l'électricité positive s'attache à la matière ordinaire, et l'état corpusculaire fournit une représentation du fluide électrique dans la théorie d'un seul fluide. L'existence de la matière à l'état corpusculaire ne se manifeste pas seulement dans la production des rayons cathodiques; M. Thomson trouve la matière à cet état au voisinage d'une plaque métallique éclairée par la lumière ultra-violette. Il développe, de plus, toute une théorie qui est à rapprocher de celle de M. Lorentz, dont nous parlions plus haut, d'après laquelle la matière corpusculaire pénètre tous les corps métalliques qui devraient, en réalité, leur conductibilité à la présence de cette matière. Sans préjuger l'avenir de telles idées, on ne peut qu'admirer l'imagination capable de développer ces conceptions hardies.

Après les rayons cathodiques, nous devons mentionner les rayons désignés sous le nom de rayons X. Leur découverte est due à M. Röntgen; l'éminent physicien montra, en 1895, qu'à l'extérieur d'une ampoule cathodique en activité se propage une nouvelle espèce de rayons capables, à la manière des rayons ultra-violets, de révéler leur présence en illuminant le platinocyanure de barium et diverses substances dans lesquelles ils excitent une phosphorescence visible, capables aussi d'impressionner les plaques photographiques même après avoir traversé des corps opaques pour tous les rayons lumineux connus. De plus, ils se propagent très exactement en ligne droite, sans se réfracter ni se diffracter. Ils sont absorbés par les divers corps, sui-

vant la nature des éléments chimiques qui les constituent, les éléments de plus faibles poids atomiques étant, en général, les moins absorbants; par là, ils se rapprochent des rayons cathodiques, mais ils sont bien plus pénétrants que ceux-ci. Les rayons de Röntgen se différencient surtout des rayons cathodiques en ce qu'ils ne sont point déviés par les champs magnétiques ou électriques, et qu'ils ne transportent point de charges électriques appréciables.

On est loin d'être fixé sur la nature des rayons *X*. Pour certains physiciens anglais, l'émission de ces rayons serait due à un effet d'induction électromagnétique développée dans l'éther du vide par l'arrêt brusque des projectiles cathodiques au moment où ils rencontrent une paroi du tube de Crookes; les rayons *X* pourraient alors être comparés à des rayons lumineux de longueurs d'onde extrêmement petites, et ce seraient des rayons ultra-ultra-violets. On comprend alors qu'ils ne se diffractent pas sensiblement; il est moins aisé d'expliquer pourquoi ils ne se réfractent pas. C'est en vain que l'on a essayé de réaliser des expériences d'interférences et de polarisation avec les rayons découverts par M. Röntgen, qui semblait au début disposé à voir des vibrations longitudinales de l'éther dans les phénomènes qu'il avait découverts.

Un chapitre intéressant a été ajouté à l'étude des rayons *X* par M. Sagnac : c'est celui des rayons secondaires. Tous les corps se comportent comme des milieux troubles pour les rayons *X*. Cette dissémination, au moins dans les corps de gros poids atomiques, comme le plomb, est accompagnée d'une transformation des rayons en rayons *secondaires*, plus absorbables que les rayons générateurs. L'émission secondaire est par là comparable, dans une certaine mesure, à la transformation d'une lumière qui frappe un corps fluorescent en une lumière de couleur différente, mais elle se présente comme une propriété surtout atomique. De plus, ces rayons secondaires semblent formés eux-mêmes par un mélange de rayons non déviés et de rayons analogues aux rayons cathodiques; en fait, ils sont électrisés négativement.

Outre les propriétés de rendre certains corps fluorescents et d'impressionner les plaques photographiques, les rayons *X* possèdent la

propriété de décharger les conducteurs électrisés, même quand les rayons traversent seulement les gaz soumis aux champs électriques des conducteurs sans effleurer ceux-ci. Quand les rayons *X* frappent un conducteur électrisé, à l'action de décharge due à la conductibilité du gaz s'ajoute une action supplémentaire variant avec le métal, et qui provient, d'après M. Sagnac, des rayons secondaires issus du métal. On peut tirer de là une analogie remarquable entre les rayons *X* et les rayons ultra-violets extrêmes connus dont la longueur d'onde est d'un dixième de micron, car il résulte d'expériences très récentes de M. Lenard que la décharge exercée par ces rayons ultra-violets est provoquée par l'intermédiaire du gaz devenu conducteur sous l'influence des rayons qu'il absorbe. Ceci vient à l'appui de l'hypothèse ondulatoire relative aux rayons *X*.

Quoi qu'il en soit des explications théoriques, la propagation rectiligne de ces rayons à travers les corps a permis d'observer l'intérieur des corps opaques à la lumière par le simple examen des silhouettes de ces corps projetées par un tube à rayons *X* sur un écran phosphorescent (radioscopie) ou sur une plaque photographique qu'on peut, après développement, observer à loisir (radiographie). Cette méthode d'exploration, due à M. Röntgen, appliquée à l'intérieur du corps humain, a rendu de grands services à la médecine et à la chirurgie; elle a rendu populaires les rayons *X*.

Les rayons hertziens, les rayons cathodiques et les rayons *X* ne sont pas les seules conquêtes faites, depuis vingt ans, dans l'étude des rayonnements. M. Henri Becquerel, peu de temps après la découverte de M. Röntgen, reconnut que l'uranium et les sels d'uranium émettent *spontanément* des rayons analogues aux rayons *X*. Ces radiations invisibles impressionnent la plaque photographique et rendent l'air qu'elles traversent conducteur de l'électricité; elles traversent le papier noir, les métaux, ne se réfléchissent ni ne se réfractent. Enfin, ce qui est le plus surprenant, c'est que l'émission des rayons est spontanée : elle n'est produite par aucune cause excitatrice connue, elle se conserve, en dépit des combinaisons chimiques, et on discute sur l'origine de l'énergie mise en jeu. D'autres corps jouissent, comme l'ont montré M. et Mme Curie, des mêmes propriétés que l'uranium. La *radio-activité*,

mesurée par la vitesse de décharge d'un condensateur électrique, est beaucoup plus grande dans certains minerais naturels d'uranium et de thorium que dans l'uranium lui-même et les minerais correspondants préparés artificiellement. Mme Curie en a conclu que les minerais naturels, d'activité anormale, renferment des traces de substances nouvelles très fortement radio-actives. Cette remarque fut le point de départ de recherches considérables entreprises par M. et Mme Curie, avec la collaboration de M. Bémond, qui conduisirent à admettre l'existence de deux nouvelles substances, l'une le *polonium* précipité dans les combinaisons chimiques avec le bismuth, l'autre le *radium* précipité avec le barium.

La découverte du radium a été confirmée par l'analyse spectrale, et on a pu fixer approximativement le poids atomique de ce nouveau corps qui forme le dernier terme de la série des métaux alcalino-terreux. La remarquable méthode de recherches inaugurée par M. et Mme Curie, a permis à M. Debierne de découvrir un autre élément, l'*actinium*, analogue au thorium, dont il est difficile à séparer, et permettra, sans doute, de découvrir encore d'autres éléments jumeaux d'éléments déjà connus. Une grande difficulté de ces recherches est qu'un élément inactif par lui-même peut devenir actif lorsqu'il est exposé, pendant un temps suffisant, aux rayons du radium ou de substances analogues; ce phénomène de radio-activité induite est d'ailleurs temporaire.

L'étude des radiations singulières, analogues à celles de l'uranium, et que l'on désigne aujourd'hui sous le nom de *rayons de Becquerel*, a fait l'objet d'un nombre immense de travaux en France, en Allemagne et en Angleterre. Il en résulte que ces rayonnements sont formés de rayons de deux espèces. Ceux de la première espèce sont analogues aux rayons *X*; ceux de la deuxième sont analogues aux rayons cathodiques, ils sont déviés par l'aimant et sont chargés d'électricité négative de telle sorte que les corps radio-actifs dégagent spontanément, et d'une façon continue, de l'électricité négative. Enfin, les sels de radium sont spontanément lumineux : le chlorure de radium sec émet une lumière assez intense pour que l'on puisse lire dans l'obscurité.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Au point de vue purement théorique, l'intérêt des nouvelles substances est très grand; il réside dans les propriétés extraordinaires du rayonnement spontané de ces substances. Les discussions soulevées à ce sujet touchent aux bases mêmes de la science, au principe de la conservation de l'énergie, au principe de Carnot, à l'invariabilité de l'atome, à la nature de l'électricité. A la vérité, l'application du principe de Carnot peut prêter ici à quelques difficultés. Mais, au moins en considérant la partie des nouveaux rayonnements assimilables aux rayons cathodiques, il semble qu'il y ait une émission de matière si on adopte les idées développées plus haut de M. J.-J. Thomson. D'ailleurs, cette émission est tellement faible qu'elle ne peut être contrôlée par une perte de poids, puisque d'après les calculs du physicien anglais, elle serait d'un milligramme par centimètre carré de surface rayonnante en un milliard d'années. Il n'y a, dans ces conditions, aucune difficulté avec le principe de la conservation de l'énergie, mais alors il faut admettre que l'atome chimique n'est pas un édifice immuable et se désagrège en sous-atomes radiants chargés négativement. On voit que la découverte des rayons de Becquerel et de Curie n'intéresse pas moins la chimie que la physique, et que les diverses radiations, dont nous venons d'esquisser l'histoire, pourraient modifier un jour nos idées sur plus d'un point. Peut-être y a-t-il actuellement dans l'espace des sources d'énergie qui nous échappent et que les corps radiants savent utiliser.

Pour ce qui concerne les applications, les corps radiants sont des auxiliaires utiles dans les laboratoires de physique. Leur propriété de rendre l'air conducteur de l'électricité est déjà fréquemment utilisée; on peut aussi faire des radiographies en utilisant ces corps. En chimie, les études à faire sont nombreuses. Enfin, des applications industrielles sont à prévoir. On pourrait, par exemple, utiliser un jour, pour l'éclairage, une substance aussi spontanément lumineuse que le radium. Une révolution se prépare peut-être dans les moyens d'éclairage. On mesure le progrès qui se trouverait réalisé quand on pense qu'aujourd'hui nous ne savons mettre en mouvement l'éther, pour produire des vibrations lumineuses, qu'en chauffant des corps matériels, ce qui ne donne, en énergie utilement rayonnée, qu'un rendement

très faible. La production de lumière sans chaleur, jusqu'ici réalisée seulement, semble-t-il, par certains insectes, est obtenue par le radium; mais malheureusement la rareté et le prix élevé de ce produit rendent actuellement impraticable une application de cette nature.

CHAPITRE IV.

LA PHYSIQUE DE LA MATIÈRE ET LA CHIMIE.

I

PHYSIQUE MOLÉCULAIRE ET CHIMIE PHYSIQUE.

Les recherches d'optique et d'électricité dont nous venons de parler offrent un exemple de la première tendance précédemment signalée, où le physicien cherche une explication mécanique des phénomènes qu'il étudie. Dans les remarques que nous avons présentées plus haut, on a vu que toute une partie de la science de notre époque s'oriente dans une autre direction; comprenant dans un autre sens le mot explication, on se propose seulement de rechercher des relations numériques générales entre des grandeurs dont, au moins pour le moment, on ne discute pas la nature.

Nous avons déjà parlé de l'énergétique, et nous aurons à revenir bientôt sur ses applications à la chimie et à la physico-chimie, dont beaucoup rentrent dans la seconde tendance. Mais, en fait, il est rare que celle-ci puisse se développer dans toute sa pureté; chemin faisant, les hypothèses cinétiques, atomiques ou autres s'introduisent presque nécessairement et sont fécondes pour la découverte.

Arrêtons-nous d'abord sur cette partie de la physique de la matière et de la chimie physique où les hypothèses cinétiques et atomiques ont permis d'édifier de vastes théories. Des travaux importants relatifs à la physique moléculaire ont suggéré des vues générales. On a considéré pendant longtemps les états d'agrégation principaux de la matière comme des états bien distincts; les états solide, liquide, gazeux étaient regardés comme possédant des propriétés caractéristiques, qui ne laissaient aucune incertitude sur leur distinction en trois états. Depuis les premières recherches de Faraday sur la liquéfaction des gaz, les relations entre l'état gazeux et l'état liquide ont été mises en lumière par de nombreuses recherches. La découverte du point cri-

tique pour un gaz a été capitale. Des études théoriques et expérimentales ont été consacrées à la recherche de la relation, devant pour chaque gaz être substituée à la loi de Mariotte, entre le volume spécifique, la pression et la température; les travaux théoriques de M. van der Wals sur ce sujet resteront célèbres, ainsi que sa loi des états correspondants, d'après laquelle cette relation est la même pour tous les corps, quand on rapporte la pression, le volume et la température à leurs valeurs au point critique. A la vérité, les expériences de M. Amagat et de M. Mathias ont montré que la loi précédente n'avait pas toute la généralité d'abord admise, mais elle conserve toute sa valeur, quand on range les corps en différents groupes, et elle reste ainsi un fécond instrument de classement. Les recherches sur la statique des fluides à basse température et sur la continuité de la matière à l'état liquide et à l'état gazeux ont joué un rôle important dans la question de la liquéfaction des gaz. Il suffira de rappeler que depuis 1878 M. Cailletet et ensuite MM. Pictet, Wrobleski, Olzewski liquéfièrent l'air, l'azote, l'oxygène. En 1898, la machine de M. Linde, qu'on a pu voir fonctionner à l'Exposition, a fait de la liquéfaction de l'air à 192 degrés au-dessous de zéro une opération industrielle. L'hydrogène lui-même vient enfin d'être liquéfié par M. Dewar.

Des expériences nombreuses ont été faites sur les déformations permanentes des solides; entre autres conclusions, la déformation permanente d'un solide paraît constituée par des glissements qui se produisent, d'après le commandant Hartmann, dans des plans faisant avec la direction de la traction un angle fixe. Les solides possèdent des propriétés longtemps regardées comme caractéristiques de l'état liquide : ils s'écoulent et ils peuvent se diffuser les uns dans les autres de manière à donner des solutions solides. Ces analogies, dont on pourrait allonger la liste, entre les liquides et les solides conduisent à penser que, de même qu'il y a continuité entre l'état liquide et l'état gazeux, il doit y avoir une continuité analogue entre l'état solide et l'état liquide. La question est très délicate. Certains corps, comme le verre, sont susceptibles de fusion pâteuse, et il y a alors un passage continu de l'état solide à l'état liquide. D'autre part, quand un corps est cristallisé, on ne peut *a priori* affirmer qu'il n'est pas possible de

passer, d'une manière continue, de l'état solide à l'état liquide sans éviter la discontinuité de la fusion; car, si étrange que cela paraisse, on connaît aujourd'hui des liquides biréfringents, c'est-à-dire cristallisés. Il semble cependant, d'après les vues développées par M. Le Châtelier et les expériences de M. Tamman, que le passage continu n'est pas possible de l'état solide à l'état liquide quand un de ces états est cristallin. Il y aurait donc une différence très grande entre les passages de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état gazeux. De tels problèmes sont d'un intérêt considérable, touchant à l'essence même de la matière.

Dans la physique moléculaire, la théorie cinétique de la matière a donné lieu à de grands développements. Après avoir eu, avec Clausius et Maxwell, une grande vogue, elle a paru quelque temps frappée de discrédit. On ne voit pas actuellement ce qui pourrait remplacer les hypothèses cinétiques et rendre compte, pour prendre un exemple, d'un phénomène comme la diffusion. Pour les gaz, la théorie cinétique explique divers faits importants, elle a même conduit à prévoir que le frottement intérieur est indépendant de la pression. Des calculs hardis, s'appuyant sur diverses expériences, ont permis d'obtenir la vitesse moyenne des molécules à une température donnée : ainsi les molécules d'hydrogène ont, à zéro degré, une vitesse moyenne de 1840 mètres. Il est incontestable que les théories cinétiques de la matière reprennent faveur aujourd'hui; elles n'ont pas été moins fécondes dans l'étude des liquides que dans celle des gaz.

La distinction entre la physique et la chimie a été longtemps absolue; les questions traitées n'avaient rien de commun et les points de vue y étaient entièrement différents. Peu à peu les sphères de contact ont apparu. La loi de Dulong et Petit sur les chaleurs spécifiques, d'après laquelle les atomes de tous les corps simples ont la même capacité calorifique; la loi de Faraday, énonçant que l'action chimique d'un courant électrique est la même sur la molécule d'un sel quelconque, peuvent être citées, entre bien d'autres, comme les conclusions d'études à la fois physiques et chimiques. Depuis quinze ans, on parle couramment de chimie physique, et une science, en quelque sorte nouvelle, s'est constituée : toutes les grandes universités possè-

dent aujourd'hui des chaires de chimie physique. Celle-ci n'a pas tardé à voir se développer dans son sein des points de vue assez différents. Les uns la regardent particulièrement comme une application à la chimie des lois générales de l'énergétique, en réduisant au minimum les hypothèses explicatives; d'autres, au contraire, plus aventureux n'ont pas craint d'édifier, en outre, des théories audacieuses, dont la discussion quelquefois passionnée donne actuellement à cette partie des sciences physiques une vie extrêmement intense.

Une partie importante de la chimie physique est dominée par les hypothèses moléculaires et atomiques, qui sont à la base de la chimie moderne. L'étude de l'abaissement du point de congélation des dissolutions a conduit Raoult aux lois célèbres qui portent son nom, et les mesures *cryoscopiques* sont maintenant usuelles en chimie. Chacun sait qu'un liquide contenant en dissolution des matières étrangères se congèle à une température plus basse que quand il est pur : l'étude des phénomènes de ce genre constitue la cryoscopie. Un résultat fondamental est que, pour un même liquide, l'abaissement du point de congélation ne dépend que du nombre, et nullement de la nature des molécules dissoutes. Il y a, toutefois, des exceptions à cette loi; si elle est exacte pour les dissolutions des corps organiques dans l'eau, elle cesse de l'être pour les sels minéraux. D'une manière générale, elle ne s'applique pas aux solutions électrolytiques, c'est-à-dire qui laissent passer l'électricité; mais, pour les physico-chimistes, l'exception, suivant le vieil adage, a confirmé la règle. Il y a, suivant eux, pour les molécules dissoutes une dissociation plus ou moins complète et, en particulier, pour les solutions très étendues, la loi reparaît dans toute sa simplicité à condition de donner au mot de molécule un sens convenable; nous reviendrons bientôt sur cette idée en parlant de l'hypothèse des *ions* qui joue un rôle si important dans la chimie physique. Le nom de Raoult restera aussi attaché à la *tonométrie*, c'est-à-dire à l'étude des vapeurs émises par les solutions. La présence d'une matière dissoute élève le point d'ébullition de la solution et diminue la tension de vapeur du dissolvant. Ici encore le nombre seul des molécules, et non leur nature, intervient. Le dissolvant restant le même en quantité et qualité, la diminution de la tension de vapeur est proportionnelle

au nombre des molécules dissoutes : telle est la loi des concentrations moléculaires de Raoult.

Toutes ces études sont liées étroitement à la question de la pression osmotique dans les dissolutions. L'attention avait été appelée jadis, par Dutrochet, sur l'importance des phénomènes d'osmose dans la vie végétale, mais c'est par les travaux de M. Pfeffer que ces notions, d'abord un peu vagues, se précisèrent, cela surtout grâce à l'artifice de la membrane semi-perméable donnant libre passage à l'eau et arrêtant les corps en dissolution. La pression osmotique est, en quelque sorte, la part de pression dans la dissolution due aux molécules dissoutes; il est facile de la définir, avec précision, d'une manière purement expérimentale. La loi fondamentale de l'osmose est que, sauf certaines exceptions, toute molécule, quelle que soit sa nature, exerce en dissolution la même pression osmotique; celle-ci est donc proportionnelle au nombre des molécules réparties dans un volume donné. Nous retrouvons les mêmes propriétés moléculaires, et des études plus complètes, tant théoriques qu'expérimentales, ont montré les liens étroits entre les phénomènes osmotiques, la cryoscopie et la tonométrie. Dans ces recherches, les principes fondamentaux de l'énergétique sont constamment appliqués; reconnaissons que, avec les raisonnements actuellement employés, il est nécessaire de faire usage de certains postulats plus ou moins avoués, en particulier l'existence de parois semi-perméables laissant passer tels corps, mais imperméables pour tel autre. Mais la jeune école de physico-chimie a la foi qui transporte les montagnes, et bien des découvertes ont justifié ses audaces. L'assimilation faite par M. van T. Hoff entre la pression osmotique dans les solutions et la pression dans les gaz, qui le conduisit à étendre aux solutions l'équation caractéristique des gaz, a été un trait de génie. Merveilleuses aussi sont, dans leur simplicité, ces formes de démonstrations où intervient le principe de Carnot, comme pour le gaz, et avec lesquelles, par exemple, on établit *a priori* la nécessité de l'abaissement de la tension de vapeur émanée d'une solution. Quoi qu'il puisse advenir de certaines interprétations, des faits d'une importance capitale ont été mis en évidence. Ils intéressent la chimie comme la physique, car la théorie des pressions osmotiques revient, en somme,

au problème des équilibres chimiques; ils intéressent aussi les sciences de la vie, car l'osmose intervient dans les rapports de la cellule vivante avec le milieu ambiant. Depuis vingt ans, le rôle biologique de la force osmotique a été mis en évidence; il faut citer au moins à ce sujet les belles recherches de M. de Vries, en physiologie botanique, sur la turgescence des cellules et les coefficients d'isotonie.

Nous avons vu que, dans certains cas, les lois de Raoult cessent d'être exactes, et il en est de même pour celles qui concernent les pressions osmotiques. Ainsi, pour la majorité des sels dissous dans l'eau, les pressions sont plus fortes qu'il ne faudrait : elles ne correspondent pas au nombre des molécules qui paraissent exister dans la solution, mais à un nombre plus grand. Ainsi une solution très étendue de sel marin se comporte, par rapport à la loi de Raoult, comme si elle renfermait un nombre de molécules de chlorure de sodium double de celui qu'elle contient. M. Arrhenius émit l'idée hardie qu'il y avait là un phénomène de dissociation, et qu'en général dans les solutions de sels, d'acides ou de bases dans l'eau il y a des molécules dissociées en grand nombre, celui-ci étant d'autant plus grand que la solution est plus étendue : c'est la dissociation électrolytique, et on donne le nom de *ions* aux éléments électrolytiques. De plus, en vue d'expliquer l'action des courants sur les solutions, on suppose que les *ions* portent une charge électrique; ainsi les *ions* chlore et les *ions* sodium dans une dissolution de sel marin sont chargés respectivement d'électricité négative et d'électricité positive. Ces vues, au premier abord étranges, sont loin d'être admises par tous les chimistes. Diverses expériences semblent cependant bien montrer la réalité d'un double mouvement matériel pendant le passage d'un courant dans une solution, et je ne crois pas qu'aucun fait précis lui ait été opposé. Les nouvelles hypothèses ont réussi, au contraire, à grouper autour d'elles un grand nombre de faits épars; combinés avec les lois de la thermodynamique, elles ont été l'origine d'une théorie importante qui a fait prévoir des faits nouveaux, éclairé le mécanisme de nombreuses réactions chimiques et fourni même une représentation de la manière dont se produisent les forces électromotrices qui faisait l'objet de discussions depuis l'époque de Galvani et Volta. Il importe

peu, d'ailleurs, qu'une théorie choque ou non nos habitudes; c'est un point sur lequel il est inutile d'insister après ce que nous avons dit sur la façon dont on doit envisager les théories physiques, c'est-à-dire les systèmes d'images par lesquels nous nous représentons la réalité. En pressant même un peu la théorie des *ions*, on serait conduit à penser que les charges de tous les *ions* sont des multiples de la charge portée par l'*ion* d'hydrogène, ce qui conduit, en quelque sorte, à l'atome d'électricité, et cette matérialisation de l'électricité est bien d'accord avec les vues de M. J.-J. Thomson, que nous indiquions à propos des rayons cathodiques. Remarquons-le encore une fois : il est singulier de voir reparaître des théories d'émission, alors que les théories ondulatoires semblaient assurées d'un triomphe définitif. Étranges destins des théories! Je dois ajouter toutefois que, pour plusieurs chimistes, certains faits visés plus haut pourraient être expliqués, en niant la dissociation électrolytique et en admettant, au contraire, la polymérisation de la molécule d'eau; mais, quoi qu'il en soit de l'avenir des théories électrolytiques, on ne peut nier qu'elles aient provoqué un mouvement expérimental considérable, ce qui est le point essentiel pour une étude physique.

II

L'ÉNERGÉTIQUE ET LA CHIMIE.

Nous venons de jeter un coup d'œil sur une direction des recherches de chimie physique, où interviennent de nombreuses hypothèses ayant pour objet de faire pénétrer dans le mécanisme intime des phénomènes. Une autre partie essentielle de la chimie physique consiste dans les applications de l'énergétique à la chimie, en ne s'appuyant sur aucune hypothèse explicative, mais seulement, quand il est nécessaire, sur les lois expérimentales relatives à chaque catégorie de phénomènes. Elle s'est surtout développée sous l'influence des travaux de M. W. Gibbs, aux États-Unis, et de Helmholtz, en Allemagne. Sa caractéristique est de mettre en évidence l'aptitude de chaque système à entrer en action, ce que Sadi Carnot appelait la puissance motrice,

Helmholtz l'énergie libre, et ce que M. Duhem appelle le potentiel thermodynamique : cette fonction, en particulier, joue dans l'étude des équilibres chimiques le même rôle que le potentiel en mécanique rationnelle.

Les travaux de Helmholtz *sur la Thermodynamique des phénomènes chimiques*, quoique moins importants que ceux de M. Gibbs et un peu postérieurs, ont eu, au début, plus de retentissement. Les mémoires du savant américain sont restés pendant quinze ans à peu près inconnus, jusqu'au jour où M. van der Waals en a fait comprendre l'importance aux chimistes hollandais. Depuis lors, les idées de M. Gibbs se sont rapidement répandues en Hollande à la suite des travaux de M. Bakhuis Rozeboom et de ses élèves; en Allemagne, de MM. Ostwald et Nernst; aux États-Unis, de MM. Trevor et Bancroft; en France, de MM. Duhem et Le Châtelier. Si la plupart des chimistes, adonnés à la chimie physique, s'inspirent aujourd'hui directement des idées de M. Gibbs, il s'est cependant produit, dans l'intervalle écoulé entre leur première publication et leur diffusion, un certain nombre de recherches indépendantes, comme celles de M. van T. Hoff et de M. Le Châtelier, dont les résultats considérés alors comme nouveaux ont contribué aux progrès de la science. On a reconnu, depuis, que les plus importants d'entre eux étaient contenus implicitement dans l'œuvre du savant américain.

L'introduction de l'énergétique en chimie a rendu deux ordres de services également importants. Elle établit d'abord entre certaines grandeurs mesurables des relations nécessaires que l'expérimentation abandonnée à elle-même serait sans doute bien longue à reconnaître; elle donne, en second lieu, des procédés rationnels de classification pour les faits observés. Le premier de ces services se comprend aisément. Le second est peut-être plus important encore : il permet d'augmenter considérablement, si je puis dire, le rendement scientifique de l'expérimentation, en faisant ressortir des analogies qui auraient pu longtemps échapper.

Parmi les découvertes de M. Gibbs, une des plus importantes est la célèbre *loi des phases*. Cette loi groupe tous les phénomènes d'équilibre chimique avec une clarté que l'on croyait impossible à atteindre;

elle a permis de se reconnaître dans l'étude expérimentale de systèmes très complexes que l'on n'aurait jamais songé autrefois à aborder. Parmi les recherches importantes qu'elle a facilitées, on peut citer l'étude des équilibres complexes entre les différents sels de l'eau de mer, et les études sur les alliages métalliques, questions dont l'intérêt industriel égale l'importance scientifique. Cette loi établit des relations nécessaires entre le nombre des phases, c'est-à-dire des différentes masses homogènes existant dans un système en équilibre chimique et celui des composants indépendants intervenant dans la réaction d'équilibre envisagée. On obtient cette loi, sans qu'il soit besoin d'aucun calcul, en rapprochant le nombre des paramètres nécessaires pour définir l'état d'un système de corps du nombre des relations qu'établit entre ces paramètres la condition d'équilibre. Dans un système en équilibre, le nombre r des phases ne peut dépasser de plus de *deux* unités le nombre n des constituants du système. Quand $r = n + 2$, l'équilibre ne peut exister qu'à une seule pression et à une seule température; le système est dit alors invariant, tel est le cas d'un système renfermant de l'eau sous chacun des trois états de glace, de liquide et de vapeur. Un système est monovariant, si $r = n + 1$: pour l'équilibre, on peut alors se donner arbitrairement soit la température, soit la pression; ainsi pour une température donnée, il y a une tension de transformation, et le type le plus simple d'un système monovariant est fourni par un liquide surmonté de sa vapeur. Cette classification se poursuit, et tous les systèmes chimiques qui appartiennent à une même catégorie présentent de nombreuses analogies. La connaissance des cas simples où les constituants sont peu nombreux permet d'aborder l'étude des cas complexes similaires.

Les équilibres chimiques, dont nous avons la connaissance expérimentale, sont des équilibres stables, c'est-à-dire que si on écarte un tel système de son état d'équilibre par l'intervention d'une action extérieure, il tend à revenir à son état initial, une fois l'action extérieure supprimée. Cette stabilité de l'équilibre entraîne en chimie, comme en mécanique, certaines relations entre les grandeurs caractéristiques du système. Ces relations présentent une importance capitale; elles permettent de prévoir le sens du déplacement de l'équilibre

sous l'influence d'un changement de pression, de température, etc. Cette loi, partiellement énoncée par M. van T. Hoff, sous le nom d'équilibre mobile de température, a été présentée sous sa forme générale par M. Le Châtelier, sous le nom de principe d'opposition de l'action à la réaction : elle avait été établie antérieurement, dans toute sa généralité, par M. Gibbs. Une des conséquences de cette loi est que tout changement de température tend à déplacer l'équilibre dans un sens tel que la chaleur mise en jeu dans la réaction provoque une variation inverse de la température : ainsi une élévation de température provoque une réaction avec absorption de chaleur. Il en est de même pour ce qui concerne la pression, la force électromotrice, la masse des corps en réactions. Cette loi si générale, qui avait échappé aux expérimentateurs, leur est aujourd'hui d'un grand secours. Elle coordonne toutes les anomalies que semblait présenter la variation de la stabilité avec la température. Il en résulte, en particulier, que les sels qui se dissolvent avec dégagement de chaleur présentent une solubilité décroissante à mesure que la température s'élève; la même loi nous apprend aussi que les composés chimiques fournis avec dégagement de chaleur sont d'autant plus stables que la température est plus basse, tandis que les composés endothermiques, comme l'acétylène, sont d'autant plus stables que la température est plus élevée.

Indépendamment de ces lois tout à fait générales, l'application de l'énergétique à la chimie a permis d'établir un certain nombre de lois plus restreintes en ce sens qu'elles s'appliquent à des points singuliers des phénomènes d'équilibre. Telles sont les lois relatives à l'influence de l'état des corps sur leur solubilité, particulièrement étudiées par M. Le Châtelier qui a démontré la nécessité de la multiplicité des courbes de solubilité et a basé sur ce fait la théorie de la prise du plâtre et des mortiers hydrauliques. Citons encore le théorème de M. Gibbs sur les maxima des courbes de solubilité, qui a rendu de grands services dans l'étude expérimentale des alliages et l'étude des points anguleux des courbes de solubilité dont la théorie fait connaître d'importantes propriétés.

Toutes les lois que nous venons de rappeler sont absolument rigoureuses, elles donnent des relations numériques entre les changements

corrélatifs de pression et de température dans les systèmes en équilibre chimique, des relations qualitatives au sujet du changement des masses. Il existe un second groupe de relations semblables qui n'ont plus la même rigueur, car elles s'appuient sur des lois expérimentales limites et visent parfois des corps fictifs comme les gaz parfaits dont les analogies avec les corps réels sont plus ou moins lointaines. Ces nouvelles relations, au point de vue théorique, doivent donc être classées bien loin derrière les premières, mais, au point de vue pratique du chimiste expérimentateur, leur intérêt est encore très grand. La plus importante de telles lois se rapporte à l'équilibre des systèmes gazeux, et donne une relation entre les variations simultanées de masse que l'on peut faire subir aux constituants d'un système gazeux en équilibre sans altérer cet état d'équilibre; elle a été établie pour la première fois par M. Gibbs en partant d'une hypothèse sur le potentiel des mélanges gazeux choisie de façon à satisfaire à certaines expériences de Regnault. Cette loi est aujourd'hui le guide de tous les expérimentateurs qui s'occupent de l'équilibre des systèmes gazeux homogènes; elle présente, au point de vue industriel, un intérêt capital en ce qui concerne les phénomènes de combustion du charbon et les phénomènes de réduction des minerais. Dans un ordre de recherches analogues rentrent les études de M. van T. Hoff sur l'équilibre des mélanges liquides homogènes; en faisant une hypothèse sur les pressions osmotiques pratiquement équivalente à la loi de Wüllner, l'éminent chimiste est arrivé à une formule générale de l'équilibre des solutions diluées offrant une grande analogie avec celle des mélanges gazeux.

Ces exemples montrent l'importance énorme que prend l'application à la chimie des lois générales de l'énergétique. De ces applications, les unes ont un caractère tout à fait rigoureux, ou du moins offrant la même certitude que les lois fondamentales de la science de l'énergie; d'autres s'appuient sur des lois expérimentales plus ou moins approchées. Les premières, ici comme en physique, sont en quelque sorte qualitatives; dans les secondes, les formules rigoureuses ne sont pas suffisantes parce qu'elles renferment, outre les volumes, les pressions, les températures, les phases, les quantités de chaleur,

toutes grandeurs accessibles à l'expérience, les potentiels qui échappent à nos mesures. Il faut éliminer ces potentiels pour arriver à des formules quantitatives utilisables par l'expérimentation. On ne le peut que dans certains cas particuliers, et, en général, l'élimination est impossible si l'on s'en tient aux principes généraux, et c'est alors que doivent intervenir certaines lois expérimentales.

L'idée féconde de l'équilibre chimique, qui joue un si grand rôle dans la science de notre époque, avait déjà, il y a longtemps, attiré l'attention de Berthollet. Plus récemment, le travail classique de M. Berthelot sur l'éthérification, et les admirables recherches d'Henri Sainte-Claire Deville et de ses disciples sur la dissociation ont réellement créé la chimie physique, en mettant en pleine lumière la notion de l'équilibre chimique. Il ne faut toutefois pas oublier qu'il est des équilibres d'une autre nature, ne correspondant pas à des transformations réversibles; ce sont les cas de repos chimique, comme les avait appelés M. Le Châtelier, ou de faux équilibres, comme on les désigne souvent avec M. Duhem. Ainsi, à la température ordinaire, l'oxygène et l'hydrogène ne se combinent pas : c'est là un faux équilibre. Le faux équilibre est comparable à l'équilibre d'un corps rugueux retenu par le frottement sur un plan incliné; il y a en chimie, au moins dans certaines conditions, des résistances passives jouant un rôle analogue au frottement et à la viscosité. Aussi longtemps qu'on a confondu les équilibres véritables et les faux équilibres, la confusion en mécanique chimique est restée inextricable; la distinction commence aujourd'hui à devenir familière. Les actions de présence et les nombreux procédés mis en œuvre pour réaliser les réactions ont pour effet d'annuler les résistances passives, de même que l'huile annule le frottement dans les machines. L'étude théorique des faux équilibres présente des difficultés considérables; on sait combien déjà en mécanique rationnelle sont peu satisfaisantes les recherches faites depuis un siècle sur le frottement. Le problème de mécanique chimique est beaucoup plus général, et il serait, je crois, prématuré de dire quel avenir est réservé aux intéressantes tentatives faites dans cet ordre d'idées par divers physiciens, particulièrement par M. Duhem.

Quoi qu'il en soit, l'importance de la nouvelle branche de la chimie

qui doit son plein développement aux travaux de M. W. Gibbs est comparable à celle de la chimie minérale créée par Lavoisier, de la chimie organique dérivée des travaux de Gerhardt; son influence, nous l'avons vu, se fait déjà sentir dans l'étude des problèmes industriels.

III

CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE MINÉRALE.

Nous venons d'insister sur cette partie de la chimie, qui a de nombreux points de contact avec la physique, et où les théories prennent les mêmes formes que dans cette dernière science. Dans d'autres parties de la chimie, le caractère explicatif est différent; le point de vue mécanique n'y joue actuellement aucun rôle ou à peu près, et l'explication y est surtout géométrique et schématique. Gardons-nous bien de faire peu de cas de ces constructions, au premier abord moins satisfaisantes : elles ont rendu et rendent, tous les jours, d'immenses services, dont la chimie organique peut donner tant d'exemples. On sait l'importance, en chimie organique, de la théorie atomique; elle découle de la théorie des types de Gerhardt et Laurent appuyée sur la notion de valence des éléments et, en particulier, sur la quadrivalence du carbone. Disséquant, pour ainsi dire, la molécule, elle a permis, tout d'abord, de la représenter par une image dans le plan, image qui figure la façon dont sont attachés les uns aux autres les atomes de carbone, et de déterminer, en outre, auxquels de ces atomes de carbone sont attachées les fonctions que le corps soumis à l'analyse peut posséder. Pour arriver à une telle représentation, il faut, en dehors de la connaissance des analyses et des diverses réactions que le corps possède, avoir une idée exacte du nombre d'atomes contenus dans sa molécule, et par conséquent il faut connaître son poids moléculaire. Il n'y a pas bien longtemps encore, on ne possédait qu'une seule méthode pour déterminer les poids moléculaires : elle découlait de la loi d'Avogadro et d'Ampère, et elle était basée sur la détermination des densités de vapeur. Elle n'était donc applicable qu'aux corps capables de se volatiliser sans altération et était forcément d'un emploi restreint.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Un autre procédé fut indiqué par M. Berthelot, basé sur la transformation du corps étudié en carbure saturé correspondant, carbure dont on pouvait déterminer ensuite le poids moléculaire par la méthode des densités de vapeur. D'autres méthodes sont aujourd'hui couramment employées; parmi elles, on doit surtout citer celle de M. Raoult, se déduisant de ses recherches sur la cryoscopie et la tonométrie.

Pendant de longues années, la chimie organique s'est contentée de représenter par une formule plane la constitution des corps. Il n'était sans doute dans la pensée de personne que cela représentait la forme de l'édifice isolé, mais c'était une première approximation montrant le nombre des atomes de carbone existant dans une chaîne, avec la façon dont ils étaient reliés les uns aux autres, et la manière dont les diverses fonctions se rattachaient aux atomes de carbone. Dans ces quinze dernières années, les chimistes organiques ont eu une prétention plus haute : ils ont voulu représenter le corps, dont ils avaient établi la constitution, par une formule qui montrât la situation des divers atomes dans l'espace, et la *stéréochimie* s'est développée. Celle-ci a pour point de départ les travaux cristallographiques de Pasteur, et a eu pour créateurs M. Le Bel et M. van T. Hoff.

Pasteur, en étudiant les acides tartriques, avait trouvé que tout corps actif sur la lumière polarisée possède une structure dissymétrique, et il avait conclu que, si le corps est actif en solution, c'est à la dissymétrie de la molécule qu'il le doit. A l'époque où Pasteur fit ses travaux, on ne savait pas établir les formules de constitution des corps, c'est-à-dire la façon dont les différents atomes sont unis dans la molécule, et il ne pouvait donner qu'un résultat en quelque sorte global. MM. Le Bel et van T. Hoff, presque simultanément et sous des formes différentes, énoncèrent ce fait qu'il suffisait qu'un corps contînt un carbone asymétrique pour qu'il pût posséder le pouvoir rotatoire, un carbone asymétrique correspondant dans la formule de constitution à un atome de carbone uni à quatre restes différents. Les deux chimistes passèrent en revue tous les corps répondant à cette donnée, et ils trouvèrent que tous, au moyen de procédés spéciaux, pouvaient acquérir une action sur la lumière polarisée. Ainsi Pasteur

annonce qu'une molécule qui agit sur la lumière polarisée est un édifice dissymétrique; MM. Le Bel et van T. Hoff précisent en montrant qu'il suffit qu'une molécule possède un atome de carbone asymétrique. Il résulte de là que les corps ne peuvent être représentés que par une figure dans l'espace, et de là est née la stéréochimie. Utilisée d'abord par les inventeurs pour l'étude des corps ayant comme support de la dissymétrie le carbone, la méthode stéréochimique a été étendue par M. Le Bel à l'azote pentavalent, et elle a tout récemment été appliquée avec succès aux dérivés dissymétriques de l'étain et du soufre quadrivalents. La forme de l'édifice moléculaire dans l'espace a même fait découvrir une nouvelle isomérie stéréochimique indépendante du pouvoir rotatoire et qui a été mise en lumière par les travaux de M. von Bæyer. Sans doute, les théories stéréochimiques ne laissent pas de prêter à quelques critiques, et la partie mécanique en est rudimentaire. M. Le Bel insiste d'ailleurs avec raison sur l'hypothèse de la fixité relative des divers éléments de la molécule. Sans elle, il n'y a plus de stéréochimie : c'est ce qui semble arriver quand, par suite de diverses circonstances, comme l'élévation de température, la molécule vient à manquer de stabilité.

Les travaux de synthèse chimique sont d'une importance capitale, tant pour la théorie que pour la pratique. La synthèse de l'urée, faite par Wöhler à partir du cyanate d'ammoniaque, avait été suivie des célèbres procédés de synthèse à partir des éléments imaginés par M. Berthelot; ils avaient créé une méthode nouvelle consistant à partir du simple pour aller au composé; c'est dans cette voie que le monde chimique s'est engagé aujourd'hui. Mais il est indispensable, pour y marcher, d'avoir des guides : ces guides sont représentés par les théories, et, à ce point de vue, la stéréochimie s'est montrée très féconde. Les importants travaux de M. E. Fischer, qui n'ont pu être faits que grâce aux conceptions stéréochimiques, en donnent un remarquable exemple. Déjà l'on savait que l'aldéhyde méthylique se condensait sous l'influence des substances alcalines pour donner naissance à des corps répondant à la formule du glucose, mais on n'avait pu isoler du mélange des espèces chimiques pures. M. Fischer, qui venait de découvrir la phénylhydrazine, l'appliqua à extraire du mélange des

corps définis et il réussit à obtenir des corps cristallisés, des osazones. Il put ensuite, au moyen de ceux-ci, revenir par des chemins différents au sucre qui leur avait donné naissance et préparer ainsi synthétiquement la lévulose. Se basant sur les vues théoriques données par la stéréochimie, il a agrandi considérablement le cadre des sucres avec six atomes de carbone, et cette magnifique étude est l'une des plus remarquables de ces derniers temps.

Nous devons encore mentionner les tentatives heureuses faites pour reproduire un certain nombre de corps que nous offre la nature, parce qu'elles se rattachent aux vues théoriques de la situation des atomes dans l'espace. Les travaux sur le groupe des uréides ont conduit à la préparation artificielle de la caféine et de la théobromine, alcaloïdes du café et du cacao. Dans ce même groupe des alcaloïdes, on a établi la constitution de l'atropine et de la cocaïne, et on a réalisé une synthèse partielle de cette dernière; on a fait aussi la synthèse du principe odorant de l'essence de violettes, qu'on a désigné sous le nom d'ionone, et celle du principe odorant de l'iris. On peut sans exagération dire que toutes les synthèses chimiques sont abordables aujourd'hui; elles seront d'autant plus vite réalisées que les chimistes travaillant dans cette voie auront à leur disposition les capitaux et les moyens dont dispose l'industrie.

A côté des vues et des idées théoriques qui guident le chercheur, les nouveaux réactifs contribuent grandement au progrès des sciences expérimentales. Ce ne serait point ici le lieu d'entrer dans des détails à cet égard. Cependant, parmi les réactifs nouveaux utilisés en chimie organique, il en est un d'un caractère général, et sur lequel nous aurons à revenir en biologie, je veux parler des ferments solubles retirés des plantes ou des animaux. On avait bien utilisé précédemment les microbes pour la préparation de certains composés chimiques, comme les acides lactique et butyrique, mais on n'entrevoyait pas de quelle façon ils opéraient. Les travaux de M. Büchner sur la levure de bière ont montré que ces microorganismes sécrètent une matière de nature albuminoïde, une zymase qui, indépendamment de tout phénomène vital, est capable de dédoubler le sucre en alcool et en acide carbonique. La production de l'alcool est donc due à un phénomène

chimique provoqué par une substance spéciale sécrétée par la levure. Des ferments du même ordre, mais provoquant des oxydations ou des hydratations, ont été découverts, dans le suc de certaines plantes, par M. G. Bertrand et par M. Bourquelot. La mise en œuvre de ces ferments a déjà permis d'obtenir à l'état de pureté certains corps qu'on n'avait pu préparer jusqu'ici, et il est vraisemblable que leur emploi se généralisera. Il reste à trouver dans cette voie un ferment déshydratant; il lui serait réservé un grand avenir, car il permettrait de faire la synthèse du sucre de canne, des corps analogues et des substances amylacées qui offrent le plus grand intérêt au point de vue biologique.

Nous avons déjà assez souvent parlé des rapprochements entre les diverses branches de la science pour ne pas être étonné de la contribution apportée par la chimie organique à la chimie minérale. Indiquons à ce sujet quelques exemples. M. Fischer avait isolé une classe de dérivés organiques qu'il avait désignés sous le nom d'*hydrazines;* le point de départ de cette série est un hydrure d'azote, Az^2H^4, dont la synthèse a été faite par des voies organiques avant de l'être par des procédés minéraux. M. Curtius a de même déduit des composés diazoïques l'acide azothydrique, Az^3H, qui a ensuite été obtenu au moyen d'une réaction minérale très simple. La chimie organique a dû ses progrès si rapides à la prévision des réactions, grâce aux formules de constitution. Leur introduction en chimie minérale, quoique moins aisée à cause de la difficulté qu'on éprouve souvent à connaître la vraie condensation moléculaire, a été un grand avantage et a permis d'obtenir un grand nombre de composés nouveaux. Il n'est pas douteux que divers corps de la chimie minérale présentent des molécules complexes où certains groupements paraissent dissimulés, comme on l'observe dans les dérivés du chrome et du fer; ces faits sont comparables à ceux qu'on observe en chimie organique.

La notion de valence a été aussi en chimie minérale un guide fécond, né en grande partie des notions acquises en chimie organique et de l'extension, grâce à Raoult, des méthodes permettant de mesurer les poids moléculaires. La classification périodique de M. Mendeleeff qui, malgré ses défauts, demeure encore la seule possible, classe les corps d'après leur valence maxima par rapport à l'oxygène. Ces valences

maxima ne sont fréquemment pas utilisées dans leur totalité, et on a pu ainsi fort bien expliquer ces innombrables combinaisons, qu'on nommait autrefois d'addition, telles que les sels doubles. Leur nombre s'est beaucoup accru dans ces dernières années, à mesure qu'on établissait mieux leur constitution; tels sont, par exemple, les chlorhydrates de chlorure et les sels tétracuivriques de M. Sabatier; tel est encore le trétrachlorure de plomb dû à la notion de la tétravalence du plomb établie par la chimie organique. On sait aussi quelle importance a eue la classification de M. Mendeleeff pour la découverte des nouveaux corps comme le germanium et le scandium.

Parmi les causes directrices des travaux les plus importants faits en chimie, on doit encore compter les perfectionnements des mesures physiques, et les moyens d'action puissants que les progrès de la physique ont mis à la disposition des chimistes. C'est la précision des mesures de densité qui a conduit lord Rayleigh à soupçonner dans l'azote atmosphérique un gaz plus lourd, non contenu dans l'azote de l'azotite d'ammoniaque, et qui, plus inerte que l'azote, a pu être séparé par l'action du magnésium au rouge : la découverte de ce nouveau corps dans l'air, l'*argon*, due à la collaboration de lord Rayleigh et de M. Ramsay, a eu un grand retentissement.

En ce qui concerne les nouveaux moyens d'investigation, la production des basses températures a sans doute un grand avenir. Grâce à la découverte du point critique et à l'application de la détente, le problème général de la liquéfaction des gaz a été résolu dans toute son étendue, d'où la possibilité de descendre jusqu'à — 220°. La distillation fractionnée de l'argon a pu alors être faite, et elle à fourni à M. Ramsay toute une série de gaz satellites, le crypton, le néon, le métargon, le xénon. Outre ces gaz, l'air atmosphérique renferme encore de l'*hélium*, ce gaz dont l'analyse spectrale avait d'abord révélé l'existence dans le soleil et que M. Ramsay avait découvert dans un minéral rare, la cléveïte; la présence de l'hydrogène a été aussi signalée dans l'air que nous respirons, comme le montrent les récentes recherches de M. A. Gautier. D'après ce que nous en connaissons, la physique et la chimie des basses températures conduiront certainement à des résultats de la plus haute importance. C'est un fait bien curieux que l'accrois-

sement indéfini de la conductibilité électrique des métaux, à mesure que la température décroît. Peut-être en est-il de même de la chaleur spécifique de certains corps? Aux températures extrêmement basses, les composés exothermiques ne peuvent se décomposer, tandis que les composés endothermiques ne peuvent se former : comme l'a dit M. van T. Hoff, le principe du travail maximum de la thermochimie est entièrement vrai au zéro absolu.

La chimie des hautes températures n'est pas moins importante. Le four électrique résultant de l'arc voltaïque employé dans une enceinte close les réalise; il a été, entre les mains de M. Moissan, un outil incomparablement puissant. L'éminent chimiste a pu faire avec lui la synthèse du diamant, préparer un grand nombre de carbures métalliques, et, comme conséquence, obtenir par affinage, à l'état de pureté, des métaux seulement entrevus, comme l'uranium, le chrome, le manganèse, le tungstène et d'autres encore; par l'action de l'eau sur le carbure de calcium s'est développée l'industrie de l'acétylène. Pour les théoriciens, la chimie des hautes températures est, nous l'avons vu plus haut, d'une importance capitale : c'est elle qui a amené l'avènement de la mécanique chimique nouvelle en appelant l'attention sur les phénomènes de dissociation.

L'emploi de l'électrolyse dans des conditions plus précises a été aussi un puissant moyen d'action. Il suffit de rappeler ici que, dans un appareil convenable et suffisamment refroidi, M. Moissan a obtenu le fluor libre, et, comme conséquence, une foule de dérivés dont le plus curieux est le fluorure de soufre, gaz inerte, indécomposable par l'eau. Enfin l'emploi des métaux divisés ayant une très grande surface a été le point de départ d'une multitude de travaux importants. Des réactions spéciales, qui ne se manifestent que très faiblement avec des lames, ont lieu facilement quand on remplace les lames par des poudres métalliques dont la surface est considérable : on a là une méthode générale pour la formation directe d'un grand nombre de composés.

CHAPITRE V.

LA MINÉRALOGIE ET LA GÉOLOGIE.

Nous ne sortirons pas encore du domaine des sciences physiques en jetant un coup d'œil sur la minéralogie et la géologie, en laissant toutefois de côté, dans celle-ci, la paléontologie qui trouvera sa place dans une autre partie de ce rapport.

Grâce au concours des mathématiciens, les cristallographes ont pu élucider certaines propriétés en rapport immédiat avec la structure moléculaire des corps cristallisés. Il y a trente ans, Soncke et Mallard avaient déjà généralisé la conception de Bravais sur la structure de ces corps, en montrant que le principe d'homogénéité était sauvegardé, en substituant aux molécules symétriques de Bravais des groupes de molécules asymétriques disposés symétriquement. Il y a dix ans, MM. Schœnflies et von Fedorow reprirent la question au point de vue mathématique; ils recherchèrent les systèmes de points satisfaisant aux mêmes principes et possédant les éléments de symétrie que l'on rencontre dans les cristaux. A vrai dire, quelques-uns seulement de leurs résultats sont à utiliser pour faire la théorie de toutes les propriétés découlant de la structure moléculaire. Dans cet ordre d'idées, on doit à M. Wallerant d'importants résultats. Pour lui, les groupes asymétriques de molécules, qu'il nomme particules fondamentales, en se groupant symétriquement, donnent naissance aux particules complexes qui possèdent des éléments de symétrie proprement dits et des éléments de symétrie limites; les premiers se retrouvent dans les corps cristallisés, les seconds deviennent les éléments de symétrie des groupements cristallins. Mais deux cas peuvent se présenter. Les éléments-limites peuvent faire entre eux les mêmes angles que les éléments de symétrie proprement dits d'un polyèdre, le groupement ne comprendra qu'un nombre limité de cristaux, et il pourra se faire que l'ensemble présente, dans sa forme extérieure, l'aspect d'un cristal unique ayant dans sa forme cristalline une symétrie plus élevée que celle inhérente à chacun des cristaux composants. Il y aura,

par suite, contradiction entre la symétrie extérieure et la symétrie révélée par d'autres propriétés telles que les propriétés optiques, et il en résultera en apparence des anomalies optiques. Si, au contraire, les éléments-limites ne font pas entre eux les mêmes angles que les éléments de symétrie d'un polyèdre, le groupement n'aura, comme éléments de symétrie, qu'une partie des éléments-limites de la particule complexe, tantôt les uns, tantôt les autres. Il pourra donc se produire plusieurs groupements.

Ce dernier résultat conduit M. Wallerant à une explication du polymorphisme : si les particules fondamentales se groupent en particules complexes, c'est qu'elles possèdent des éléments-limites se transformant en éléments réels dans cette particule complexe. Il pourra donc, dans certains cas, se produire plusieurs sortes de particules complexes donnant naissance à plusieurs sortes de cristaux de symétries différentes, mais tels que les éléments de symétrie de l'un soient les éléments de symétrie des groupements de l'autre, et inversement.

Pasteur avait cru reconnaître la loi régissant les formes cristallines d'un corps polymorphe, en constatant que leurs réseaux différaient fort peu; c'est là un fait exact, mais qui n'est pas spécial aux formes d'un même corps. Une étude approfondie des corps cristallisés les plus différents a permis à Mallard de constater que leurs réseaux différaient fort peu d'un réseau cubique. En réalité, la loi régissant le polymorphisme est la suivante : dans les différentes formes cristallines, la symétrie totale est toujours celle d'un cube. Sans insister davantage sur ces questions aussi délicates qu'importantes, il est juste de dire que les recherches de M. Wallerant ont, dans ces dernières années, donné une vigoureuse impulsion aux études cristallographiques, en élargissant encore les cadres tracés par Haüy et déjà successivement agrandis par Bravais et Mallard.

Depuis dix ans, les études géologiques se sont aussi profondément modifiées. Rebutés par l'insuccès des tentatives de synthèse de Léopold de Buch et d'Élie de Beaumont, les géologues s'étaient volontairement contraints à rester dans le domaine de l'observation pure, rejetant systématiquement toute conception théorique. Ils perdaient

ainsi de vue le but que se propose la géologie, je veux dire la reconstitution de l'histoire de notre globe. Les recherches, faites sans but précis, les amenaient à constater de nombreux faits qui restaient isolés, sans liens et, il faut le dire, sans grand intérêt. Ce n'est pas qu'aujourd'hui on ait renoncé à l'observation; elle est, au contraire, d'autant plus active que les progrès de la civilisation la rendent plus facile. La construction des chemins de fer, le creusement des tunnels, la recherche des substances utiles à l'industrie permettent de résoudre bien des problèmes d'importance locale. D'autre part, les explorateurs, en pénétrant dans les régions inconnues, ont ouvert un nouveau champ aux recherches géologiques. Grâce aux voyageurs anglais et russes, on possédera bientôt des données précises sur l'Asie centrale. De leurs côtés, les services géologiques des Etats-Unis et du Canada défrichent, tous les ans, une partie de leurs immenses territoires; la recherche de l'or et du diamant, en Afrique et en Australie, a eu aussi pour résultat de faire connaître, tout au moins dans leurs grands traits, la constitution de ces continents. Enfin, l'épopée de M. Nansen à travers les régions polaires, en faisant connaître, entre bien d'autres résultats, l'existence d'une mer profonde dans les régions arctiques boréales, apporte une contribution importante à la géologie.

Mais tous ces résultats isolés ne présentent qu'un intérêt restreint, et il eût même été à craindre que leur accumulation ne rendît inabordable l'étude de la géologie. Il était indispensable de les relier, de les coordonner, d'en faire sortir des vues d'ensemble sur l'histoire de la terre. Ce fut, depuis dix ou quinze ans, l'œuvre de M. Suess et de ses adeptes. Il convient, toutefois, de ne pas être injuste envers les systèmes précédents; les théories nouvelles sont le plus souvent faites des débris des théories qui les ont précédées, et nous ne devons pas oublier que Léopold de Buch et Élie de Beaumont ont été de grands précurseurs.

On doit à M. Suess un ouvrage magistral, l'*Antlitz der Erde*, qui est aujourd'hui le livre de chevet de tous les stratigraphes. « Avant tout, dit M. Marcel Bertrand, dans la préface de la traduction française de ce volume, M. Suess cherche à établir que les montagnes ne résultent ni de soulèvements opérés de bas en haut, ni de compressions latérales

produites par les roches éruptives; ces dernières n'ont joué partout que le rôle d'éléments passifs. C'est l'abandon du système de Léopold de Buch. Par contre, le dernier chapitre montre, comme conclusion d'ensemble, qu'il n'y a trace, à la surface du globe, d'aucun arrangement géométrique; le dessin des chaînes, comme celui des contours océaniques, présente des irrégularités dont l'origine ne doit être rattachée qu'à quelque dissymétrie primitive et accidentelle, peut-être, par exemple, à la forme et à la distribution des premiers îlots de scories qui se sont épaissies à la surface de notre planète; c'est-à-dire qu'il faut renoncer à la recherche de lois factices et illusoires. C'est le système d'Élie de Beaumont qui, à son tour, est condamné. »

M. Suess a été le premier à distinguer les différents types de dislocation et à les répartir en deux catégories, d'après la nature des forces qui leur avaient donné naissance. Quand une partie de l'écorce terrestre manque d'appuis, par suite de la contraction de la masse centrale, elle se trouve soumise à une force verticale, la pesanteur, et à des réactions tangentielles : d'où deux catégories de dislocations. Sous l'influence des forces verticales, il se produit des cassures verticales accompagnées de dénivellations, autrement dit des failles. Celles-ci sont rarement isolées, elle se rencontrent en grand nombre dans une même région et dessinent grossièrement des polygones concentriques à cette région. Dans toutes, la dénivellation se produit du côté du centre de la région, qui est, par suite, le point le plus affaissé. Une telle région a reçu le nom de bassin d'affaissement. Quand deux bassins sont dans le voisinage l'un de l'autre, ils sont séparés par une région non affaissée qui a reçu le nom de *horst*. Ainsi, le bassin de Paris est séparé par les Vosges de la vallée du Rhin qui est aussi un bassin d'affaisement. Il y a lieu de remarquer que, grâce à ces failles, il y a extension des couches. Au contraire, sous l'influence des forces tangentielles, il y a compression : les couches se plissent et, si la poussée tangentielle est suffisante, il se produit des fractures sensiblement horizontales permettant le chevauchement des couches superficielles sur les couches profondes.

Ces plis ne sont d'ailleurs pas non plus isolés; ils affectent des zones très allongées relativement à leur largeur. Dans ces zones, dites

zones de plissement, certains groupes de plis parallèles sont surélevés et forment ce que nous appelons des chaînes de montagnes, et l'on a généralement le tort de considérer comme indépendantes les chaînes d'une même zone, quoiqu'elles aient même origine. Dans une zone, les plis peuvent ne pas être rectilignes : par suite de l'existence d'obstacles préexistants, ils ont pu s'infléchir, mais, dans ce cas, le changement de direction se fait toujours d'une manière continue, contrairement aux idées émises par Élie de Beaumont. Ce principe de continuité, établi par M. Suess, lui a permis de suivre une même chaîne à travers l'Europe et l'Asie, de montrer que des montagnes considérées jusqu'alors comme indépendantes n'étaient que des fragments d'une même chaîne : il a ainsi établi les liens existant entre les Pyrénées, les monts de Provence, les Alpes, les Carpathes, les Balkans, le Caucase, le Pamir, l'Himalaya. Cette chaîne n'est d'ailleurs que la limite nord d'une zone de plissement limitée au sud par d'autres chaînes, telles que l'arc constitué par la chaîne Bétique au sud de l'Espagne, qui se continue par l'Atlas, la Sicile et l'Apennin. Au milieu de cette zone, s'est produit un bassin d'affaissement constituant aujourd'hui la Méditerranée occidentale. Outre cette première zone, M. Suess a pu reconstituer deux autres zones de plissement plus anciennes, l'une s'étendant du sud de l'Irlande à la Bohême et au Thian-Chan, l'autre allant de l'Écosse à la Scandinavie.

Aux trois chaînes de M. Suess, M. Marcel Bertrand en ajoute deux autres plus anciennes et plus septentrionales. Montrant les relations d'âges existant entre ces chaînes et les phases éruptives, il fait disparaître l'antagonisme entre l'école allemande et l'école française, au sujet de la relation entre les caractères et l'âge des roches. M. Suess avait donné le coup de grâce au système pentagonal d'Élie de Beaumont. M. Bertrand lui substitue le système orthogonal en montrant que les zones de dislocation sont sensiblement parallèles soit à l'équateur, soit aux méridiens; il met aussi en évidence le rôle capital joué par les nappes de charriage dans la surrection de toutes les chaînes, et, combinant cette notion avec celle du tétraèdre de Green, il tente de reconstituer toute la genèse de la déformation de notre globe terrestre.

A côté des mouvements de l'écorce solide, M. Suess considère à part ceux de l'enveloppe liquide; il signale l'importance des développements des rivages des mers à un moment donné et montre que périodiquement se sont produites de grandes transgressions marines, dont on retrouve des traces sur presque toute la surface de la terre. Les tentatives de reconstitution des anciennes mers peuvent d'ailleurs maintenant s'appuyer sur des données plus précises, grâce aux explorations géologiques dans des contrées restées jusqu'alors inconnues à ce point de vue; c'est un travail auquel divers géologues, et en particulier M. de Lapparent, se sont livrés avec le plus grand succès, et on peut voir dans la dernière édition de son magistral traité de géologie, une esquisse de la terre et des mers à chaque période géologique. Le progrès a été surtout sensible dans les pays voisins de la zone arctique; il s'y est fait des découvertes inattendues, notamment en ce qui concerne l'extension septentrionale des diverses mers jurassiques. On connaît aujourd'hui, au moins dans ses grands traits, la géographie physique de la terre pour chaque période de son évolution. Alliée à la géologie, la géographie s'est ainsi complètement transformée; la nouvelle école géographique s'est donné pour tâche d'expliquer la genèse de toutes les formes terrestres, en insistant particulièrement sur la notion des cycles d'érosion, et la question d'âge a pris pour les formes topographiques une importance capitale.

De la géologie proprement dite, on a l'habitude de séparer l'étude des phénomènes volcaniques anciens et modernes, et cette partie de la géologie est désignée souvent sous le nom de *pétrographie*. Lorsque Sorby eut l'heureuse idée d'appliquer l'examen microscopique à l'étude des roches, on constata tant de faits insoupçonnés que, dans l'enthousiasme des premières recherches, on put espérer résoudre tous les problèmes que soulevait la genèse des roches éruptives. On fit passer sous le microscope les roches les plus diverses, et l'on put ainsi constater qu'elles se ramenaient à un petit nombre de types réunis par tous les intermédiaires. Mais on ne put aller plus loin, et il ne fut pas possible de tirer de cette étude une classification naturelle. En réalité, la genèse des roches ne peut être élucidée que par leur reproduction synthétique, le microscope n'intervenant que pour identifier les pro-

duits artificiels avec les produits naturels. Un grand pas a été fait dans cette voie par MM. Fouqué et Michel Lévy, qui ont obtenu, dans leur laboratoire, des roches microlithiques basiques identiques aux roches naturelles; mais, jusqu'ici, les roches acides, sur la genèse desquelles plane le mystère le plus complet, ont été réfractaires à toute reproduction. Quoi qu'il en soit, on peut dire que la pétrographie, par la prédominance accordée aux caractères chimiques, entre dans une voie nouvelle, dont il n'est pas possible maintenant de prévoir les résultats.

CHAPITRE VI.

PHYSIOLOGIE ET CHIMIE BIOLOGIQUE.

Nous arrivons enfin aux sciences de la vie. Nous avons eu déjà de grandes difficultés à donner une idée des divers points de vue auxquels on peut se placer quand on parle d'*explication* dans les sciences physico-chimiques. On peut penser combien les questions analogues deviennent plus difficiles quand il s'agit de ce que nous appelons la vie; aussi les explications purement verbales ne sont-elles pas rares en biologie.

En quoi consiste la vie? Les phénomènes vitaux diffèrent-ils essentiellement des phénomènes que nous observons dans le monde inanimé? Peu de biologistes sont sans doute restés attachés aux doctrines des anciennes écoles vitalistes, mais il en est qui pensent, comme Claude Bernard, que la matière n'engendre pas les phénomènes qu'elle manifeste, et ils admettent, avec le grand physiologiste, un principe d'ordre, une idée directrice; ce qui n'empêche pas d'ailleurs de poser en principe le déterminisme physiologique des phénomènes que l'on étudie, déterminisme sans lequel il n'est pas de science. Tout esprit philosophique ne peut manquer de s'intéresser à de telles questions; mais, à un point de vue strictement scientifique, au moins dans l'état actuel de la science, elles n'ont peut-être pas l'intérêt qu'on est tout d'abord tenté de leur attribuer. Une comparaison fera comprendre notre pensée. La majorité des physiciens ne se demandent plus aujourd'hui si la chaleur est ou non un mode de mouvement, et quelques-uns, nous l'avons vu, pensent que les phénomènes calorifiques ne sont pas susceptibles d'explications mécaniques; ils n'en appliquent pas moins les lois générales de la thermodynamique qui sont indépendantes d'hypothèses spéciales sur la nature de la chaleur. Pareillement, nous ne savons pas ce que c'est que l'électricité; nous n'en bâtissons pas moins avec Helmholtz et M. Gibbs une théorie de la pile, et de ce que l'énergie mécanique est transformable en énergie électrique, nous n'en concluons pas, à moins de faire des hypothèses

IMPRIMERIE NATIONALE.

spéciales, à une explication mécanique de l'électricité. Ne peut-il en aller de même dans l'étude des phénomènes vitaux?

D'importantes recherches ayant trait à l'étude des phénomènes de la vie envisagée du point de vue de l'énergie correspondent à cet ordre d'idées. Ainsi, il résulte de travaux récents, qu'il y a lieu d'envisager dans les phénomènes vitaux une forme spéciale de l'énergie, ce que M. Chauveau appelle un travail physiologique; l'énergie physiologique viendrait ainsi se placer à côté des autres formes d'énergie déjà considérées. La question reste en suspens, de savoir s'il y a des formes d'énergie qui ne se rencontrent que chez les êtres vivants. Quoique d'un haut intérêt philosophique, elle n'importe pas essentiellement pour le développement de l'énergétique biologique : le seul point essentiel est l'équivalence, et le but est d'établir des relations quantitatives entre les diverses formes d'énergie, qu'elles soient ou non irréductibles. Les énergies vitales correspondent aux phénomènes qui s'accomplissent dans les tissus en activité, et qu'on ne peut, au moins actuellement, ramener aux types connus des phénomènes physiques, chimiques et mécaniques; elles correspondent, par exemple, à ce qui se passe dans le nerf qui conduit l'influx nerveux, ou dans le muscle qui va se raccourcir. Ainsi, il semble bien qu'on ne puisse admettre qu'un muscle fonctionne comme une machine thermique, et tous les faits connus relatifs à la contraction musculaire sont compatibles avec l'idée de la transformation directe de l'énergie chimique en une forme spéciale d'énergie physiologique. D'ailleurs, dans les phénomènes, on retrouve en quelque sorte, comme forme de déchet, l'énergie calorifique, cette forme dégradée de l'énergie, comme nous l'avons vu précédemment; elle se dissipe, ou joue le rôle d'amorçant dans les réactions chimiques. Bien des points restés jusqu'ici très obscurs ont été éclairés par les considérations générales qui précèdent; c'est ainsi que M. Chauveau a étudié la valeur énergétique des éléments, en les classant en bio-thermogènes et simplement thermogènes. Quoi qu'il en soit des difficultés subsistant encore dans cette énergétique généralisée, elle a certainement devant elle un grand avenir.

Les travaux précédents sont relatifs à un organe pris dans son ensemble chez un animal, et concernent donc la vie d'ensemble des

cellules qui le composent. Une autre tendance dans les recherches s'est manifestée depuis longtemps en physiologie. On a voulu créer, en quelque sorte, une physiologie cellulaire, en étudiant les propriétés physiologiques de la cellule. Ce sont les propriétés mêmes de la vie pour les êtres unicellulaires; chez les êtres pluricellulaires, aux propriétés élémentaires des cellules qui les composent devront s'ajouter les actions des cellules les unes sur les autres. Il est capital, en effet, de ne pas oublier qu'un être vivant est autre chose qu'une juxtaposition de cellules. L'irritabilité a été longtemps regardée comme la propriété fondamentale commune à tout élément vivant, propriété que l'on cherche à expliquer en invoquant la faible stabilité chimique de certains éléments, en même temps que les propriétés osmotiques des milieux liquides; rappelons à ce propos l'exemple des amibes, petits êtres unicellulaires, qui se mettent en mouvement quand ils sont mis en contact avec certaines solutions salines, et qui, au contraire, restent immobiles dans l'eau chloroformée. En fait, tous les caractères de la matière vivante, son équilibre mobile, son organisation chimique et anatomique sont regardés aujourd'hui par la grande majorité des biologistes comme des propriétés secondaires par rapport à la *nutrition*. Celle-ci est l'attribut essentiel de la vie.

L'étude des sécrétions microbiennes, ou zymases, a conduit à de vastes généralisations sur le mécanisme de la vie. A la suite de ses recherches sur les fermentations bactériennes, M. Armand Gautier avait fait remarquer que la cellule animale, comme la cellule bactérienne, produit, à l'état normal, des bases plus ou moins toxiques, les leucomaïnes; on est ainsi amené à cette idée que la vie paraît résulter d'un ensemble de fermentations se produisant dans les cellules et les plasmas de l'être vivant, conception du mécanisme vital qui ne pourra être bien précisée que quand l'étude des ferments solubles sera plus avancée. La nature de ces ferments solubles est, malheureusement, encore peu connue, quoique des travaux très intéressants les concernant aient été récemment publiés.

Parmi ceux-ci, j'ai déjà fait allusion, en chimie organique, à une étude de M. G. Bertrand, qui a créé un nouveau chapitre de la physiologie cellulaire, en mettant en évidence une oxydase dans le latex

de la laque de Chine; dans le latex, la laccase oxyde le laccol, elle peut oxyder d'autres phénols, en particulier l'hydroquinone. Diverses diastases oxydantes ont été, depuis, trouvées par MM. Bourquelot, Duclaux et d'autres chimistes. Une autre découverte mémorable fut faite, en 1897, par M. E. Büchner, celle de la diastase alcoolique. Celle-ci n'exsude pas d'elle-même de la cellule de levure de bière, et il n'a été possible de l'en extraire que par une très forte compression et au moyen d'une technique compliquée. Si dans la diastase ainsi obtenue, on met du sucre en poudre, on obtient de l'acide carbonique, et en distillant on trouve de l'alcool. La diastase alcoolique est susceptible de résister à une température de 120 degrés, fait exceptionnel, car les autres diastases perdent tout pouvoir à une température de 100 degrés. La composition chimique des diastases n'est pas connue, leur analyse étant à peu près impossible à faire; il est probable qu'elles contiennent des éléments minéraux. Parmi les plantes, les champignons se montrent surtout riches en diastases diverses. Non seulement on a mis en évidence tel ou tel ferment dans les organes des plantes, mais M. Guignard est arrivé, pour certains d'entre eux, comme la myrosine et l'émulsine, à préciser, à l'aide de réactions micro-chimiques, leur localisation dans des cellules spéciales, ce qui a permis ensuite à divers observateurs de reconnaître le siège de la plupart des alcaloïdes retirés des plantes par des procédés chimiques.

Quant au mode d'action des ferments solubles, on peut faire, à son sujet, quelques hypothèses plausibles et quelques comparaisons. On admet, comme M. Berthelot l'a remarqué depuis longtemps, que ces ferments ne fournissent pas, en général, d'énergie aux substances qu'ils transforment; ils jouent le rôle d'amorces pour les réactions irréversibles se produisant dans des éléments en équilibre instable. Il est permis de comparer cette action à l'action décomposante énergique que possède le platine à l'état colloïdal sur l'eau oxygénée, comme vient de le montrer M. Bredig; ce platine serait, en quelque sorte, un ferment inorganique dont, chose très curieuse, certains poisons, comme l'hydrogène sulfuré, paralysent l'action. Si la grande majorité des fermentations sont des réactions irréversibles, il y a cependant des

fermentations réversibles; c'est ce qu'avait déjà montré M. Croft Hill en trouvant une diastase, la maltase, qui tantôt hydrolise le maltose en le transformant en glycose, tantôt déshydrate celui-ci en le ramenant à l'état de maltose. Pour ces ferments solubles, l'action est entravée par les produits de la réaction; on a là des phénomènes réversibles d'équilibre, et ces ferments semblent n'avoir dans l'organisme qu'une action régulatrice destinée à maintenir constante la proportion de certaines substances.

Nous n'avons pas à refaire ici l'histoire des découvertes capitales faites, avant 1890, dans la physiologie des nerfs. En nous bornant aux dernières années, on remplirait une bibliothèque avec les travaux relatifs aux systèmes nerveux, mais il faut avouer que l'impression est bien confuse qui se dégage des conclusions des mémoires les plus importants. C'est en tant qu'instrument de la solidarité des parties de l'organisme que le système nerveux intéresse surtout la physiologie; il constitue entre ces diverses parties un immense réseau de communications. Les comparaisons abondent pour donner une idée du rôle du système nerveux; on les emprunte souvent maintenant à la téléphonie, la station obligatoire dans un centre nerveux encéphalo-rachidien correspondant au poste central. On s'est naturellement demandé quel est le processus intime de l'excitation. On considère généralement que le stimulus nerveux joue le rôle d'amorce. Il est alors possible d'établir une comparaison entre le processus de l'excitation nerveuse et le processus fermentatif dont nous parlions plus haut. C'est ce qu'a fait M. Morat; les ferments solubles seraient ainsi capables de suppléer le système nerveux dans un certain nombre d'actions vitales. Ce n'est pas à dire, d'après le physiologiste de Lyon, que le système nerveux ne puisse pas avoir d'influence sur les réactions réversibles, mais cette influence est indirecte et résulte d'une répercussion. Je ne veux pas rechercher si ces sortes d'explications sur le mécanisme de l'action nerveuse sont susceptibles de contrôles; je ne m'aventurerai pas non plus sur le terrain mouvant de la psycho-physiologie, c'est-à-dire sur les correspondances entre les actes d'idéation et les actes purement physiologiques. On peut dire que, dans les essais d'explication se rapportant à la physiologie nerveuse, on est souvent réduit à des compa-

raisons plus ou moins heureuses, quelquefois à des métaphores, et, dans cet ordre d'idées, les problèmes essentiels restent ouverts.

Si après l'impression nous en arrivons à la conduction, il faudrait approfondir la nature de l'influx nerveux. L'assimilation avec un courant électrique se présentait naturellement, mais cette hypothèse est à peu près abandonnée aujourd'hui. Les uns imaginent une onde nerveuse, d'autres une onde chimique se propageant comme une traînée de poudre. En réalité, au point de son évolution où en est aujourd'hui la physiologie du système nerveux, une théorie sur l'influx nerveux paraît impossible à édifier, trop de faits incertains ayant encore besoin d'être contrôlés.

L'anatomie et l'histologie du système nerveux ont donné lieu à de nombreuses et patientes recherches; dans ce domaine, nos connaissances se sont considérablement accrues. Un premier pas important avait été fait, quand on avait constaté que la fibre nerveuse, ou du moins la partie essentielle de la fibre, celle qui en occupe l'axe, le cylindre-axe n'est qu'un prolongement, qui peut atteindre des dimensions considérables, de la cellule nerveuse. Celle-ci devient donc l'élément essentiel; outre son cylindre-axe, la cellule nerveuse présente des ramifications très nombreuses. Quel est le mode de communications des cellules entre elles? Pour les uns, les cellules nerveuses confondent en un réseau, soit leurs prolongements protoplasmiques, soit leurs ramifications cylindro-axiles; d'autres nient l'existence d'un réseau et s'attachent à établir la doctrine des *neurones*, c'est-à-dire des cellules nerveuses individualisées dont les prolongements entrent seulement en contact par leurs extrémités : entre les deux opinions le procès est toujours pendant. Remarquons que, dans les recherches de ce genre, la technique joue un rôle essentiel, certains réactifs permettant de voir des éléments qui jusque-là n'ont pu être mis en évidence. L'emploi des procédés, comme celui de Golgi au chromate d'argent et celui de Ehrlich au bleu de méthylène, ont été l'origine de découvertes capitales.

D'après ce que nous venons de dire sur quelques questions de biologie, on voit la tendance générale de la science à ramener les phénomènes vitaux aux phénomènes physiques et chimiques; les noms

mêmes de biophysique et de biochimie doivent même, pour quelques-uns, remplacer celui de physiologie. Cette vue a été très féconde et a suscité d'importantes découvertes : c'est d'elle qu'est née la chimie physiologique et, grâce à elle aussi, les instruments de physique ont de plus en plus pénétré dans les laboratoires de physiologie. Il existe aujourd'hui une physique des nerfs, des muscles et des organes des sens, une mécanique du squelette, de la circulation et de la respiration, due surtout aux travaux si précis et si élégants de M. Marey. La physiologie étant considérée seulement comme une biophysique et une biochimie, il en résulterait que les explications en biologie doivent avoir le même caractère que dans les sciences physiques. Il faut reconnaître cependant que, sous ce rapport, les progrès sont assez lents. Bien souvent, les explications sont purement verbales ou manquent de contrôle; dans nombre de cas, leur recherche est prématurée, comme nous avons pu le constater dans la physiologie des nerfs. Peut-être le dogme mécanique, que la vie, avec ses apparences si complexes, n'est rien autre qu'un problème physico-chimique, est-il aussi peu fondé que l'ancien vitalisme, du moins en tant qu'il s'agit de la physique et de la chimie, telle que nous la comprenons actuellement : c'est ce que pensent aujourd'hui d'éminents physiologistes. Beaucoup de géomètres et de physiciens qui trouvent, nous y avons insisté, tant de difficultés dans les notions mécaniques paraissant les plus simples, souscriront, sans peine, à ce doute. Quoi qu'il puisse advenir, méfions-nous des schèmes trop simplifiés par lesquels nous voudrions représenter le monde; s'ils rendent, pendant un temps, de grands services à la science, ils peuvent ensuite retarder ses progrès. Mais laissons de côté ces questions si controversées, et jetons un coup d'œil sur les progrès considérables faits récemment dans la recherche du *comment* en botanique et en zoologie.

CHAPITRE VII.

BOTANIQUE ET ZOOLOGIE.

I

LA BOTANIQUE GÉNÉRALE.

Les êtres vivants ont été partagés en végétaux et animaux : la classification s'offrait d'elle-même, mais la distinction est loin d'être aussi tranchée qu'elle l'a paru longtemps. Entre les végétaux et les animaux, il existe des termes de passage participant des propriétés des uns et des autres, de telle sorte qu'il y a comme un tronc commun à la base du règne végétal et du règne animal. En outre, l'attention des biologistes s'est particulièrement portée sur la cellule qui apparaît comme l'unité de matière vivante, unité provisoire sans aucun doute, car elle est elle-même un élément extrêmement complexe, dont la complication apparaît de mieux en mieux, à mesure que l'on emploie des appareils plus parfaits d'observation et des réactifs plus précis d'analyse.

L'étude de la cellule végétale se retrouvait en retard sur celle de la cellule animale, après l'avoir précédée. D'importants travaux sont venus, dans ces dernières années, combler cette lacune : ils sont relatifs aux communications protoplasmiques, aux centrosomes, au noyau, à la membrane cellulaire. Étendant ce que Thuret et M. Bornet avaient constaté jadis chez les floridées, on a pu reconnaître que, dans nombre de cas, les ponctuations des membranes cellulaires livrent passage à des fils protoplasmiques très ténus, établissant des communications directes entre les cellules; résultat important, en ce qu'il montre de nouveau que le corps de la plante n'est pas simplement un agrégat de cellules plus ou moins différenciées, mais bien un ensemble vivant.

Outre le protoplasma, la cellule renferme, en général, un noyau. A côté de ce noyau, des corps spéciaux avaient été observés d'abord

dans les cellules animales, par MM. Strassburger, van Beneden et d'autres naturalistes, et désignés sous le nom de *centrosomes*, corps qui paraissent jouer le rôle de centre dynamique dans la cellule. M. Guignard en annonça, en 1891, l'existence chez les plantes. C'est surtout chez les thallophytes que les centrosomes ont été le plus facilement observés, et on les a rencontrés aussi chez les algues et les fougères. Les caractères morphologiques de ces éléments sont très variables; de là, des discussions dont ils sont encore l'objet chez les plantes supérieures, où pourtant les faits observés conduisent aussi à admettre qu'il existe, au moment de la division du noyau, des centres cinétiques, dont le rôle est analogue à celui des centrosomes les mieux différenciés.

Le rôle du noyau est capital dans la vie de la cellule et dans les phénomènes de la fécondation. La présence de ce corps a été démontrée dans tous les groupes de végétaux, à l'exception, toutefois, des bactéries. On doit à M. Strassburger et surtout à M. Guignard, d'avoir mis en évidence la ressemblance frappante qui existe, dans les phénomènes de la division du noyau, à la fois chez les animaux et chez les plantes; ces savants ont constaté que, dans une même espèce, les noyaux des tissus végétatifs diffèrent, par un caractère important, des noyaux des cellules reproductrices. Cette différence porte sur le nombre des éléments chromatiques ou chromosomes, pendant la division indirecte ou karyokynèse; dans les noyaux des cellules sexuelles, ce nombre est réduit à la moitié du nombre observé dans les noyaux végétatifs. De plus, le nombre des chromosomes, qui peut offrir des variations dans les noyaux végétatifs, est remarquablement fixe dans les organes sexuels, fait sans doute en relation avec la transmission des propriétés héréditaires. De plus, ce nombre est identique dans le noyau mâle et dans le noyau femelle qui s'unissent pour former l'embryon. La réduction numérique du nombre des chromosomes dans les cellules sexuelles apparaît comme nécessaire, pour que ce nombre ne devienne pas double à chaque végétation.

Des découvertes considérables ont été faites également dans l'étude des organes reproducteurs chez les végétaux. Le mode de transport de l'élément mâle vers l'élément femelle, qu'il doit féconder, avait per-

mis, depuis longtemps, d'établir une différence profonde entre les phanérogames et les cryptogames. Chez celles-ci, il ne peut avoir lieu que par l'intermédiaire de l'eau, et les gamètes mâles ou anthérozoïdes sont pourvus de mouvements, grâce auxquels ils vont rejoindre le gamète femelle ou oosphère. Chez les phanérogames, au contraire, le grain de pollen forme un tube plus ou moins long, qui pénètre dans les tissus et permet au gamète mâle d'arriver au contact du gamète femelle. Cette distinction classique doit être abandonnée; en 1897, l'existence d'anthérozoïdes a été démontrée, presque simultanément, chez plusieurs phanérogames gymnospermes, notamment par M. Ikeno, dans une cycadée, et par M. Hirase, dans une conifère, le gingko. Chez ces plantes, le grain de pollen développe, comme chez les autres phanérogames, un tube pollinique, mais celui-ci n'atteint pas le sac embryonnaire; à son intérieur, prennent naissance deux anthérozoïdes qui s'en échappent. On peut donc voir là des types de transition entre les cryptogames supérieures et les autres gymnospermes dépourvues d'anthérozoïdes. Cette découverte est d'autant plus intéressante que les cycadées actuelles et l'unique genre gingko sont les représentants de formes nombreuses de la période mésozoïque, qui ont fait leur apparition avant les autres gymnospermes encore vivantes.

Une découverte non moins importante est due aux travaux récents de M. Guignard et de M. Nawaschine. Ces deux observateurs ont montré, d'une façon indépendante, que, chez les angiospermes, l'ovule n'est pas simplement, comme on l'avait cru jusqu'ici, le siège d'une fécondation unique, donnant naissance à l'embryon qui constitue la partie essentielle de la graine : une seconde fécondation a lieu en même temps que la première et a pour conséquence la formation de l'albumen destiné à nourrir l'embryon. Les deux éléments mâles, amenés dans l'ovule par le tube pollinique, ont chacun un rôle déterminé : l'un s'unit au noyau de l'oosphère, l'autre au noyau secondaire. Ces deux copulations donnent naissance, d'une part à l'embryon, organisme définitif chargé de perpétuer l'espèce, d'autre part à l'albumen, tissu transitoire destiné à la nutrition de l'embryon. D'ailleurs, ces deux copulations ne sont pas semblables entièrement; les caractères de la sexualité, au point de vue de la réduction du

nombre des chromosomes, n'existent que dans celle qui donne naissance à l'embryon, comme il résulte des observations de M. Guignard. La double fécondation permet de comprendre certains faits restés inexplicables chez les hybrides; on se rend compte, en effet, maintenant que l'hybridité peut porter aussi bien sur l'albumen que sur l'embryon. Comme le fait remarquer M. H. de Vriès, qui a spécialement étudié les hybrides du maïs : «Les expériences sur l'influence du pollen dans le croisement trouvent leur explication, vainement cherchée depuis plus d'un siècle, dans la remarquable découverte de la fécondation double, par M. Nawaschine et par M. Guignard.»

L'anatomie des tissus et des organes a donné lieu à de nombreux mémoires, parmi lesquels il faut citer les études de M. van Tieghem, sur les racines. Elle a apporté aussi à la botanique systématique un secours des plus importants; c'est ainsi que M. van Tieghem a revisé la classification d'un grand nombre de familles et montré combien étaient souvent insuffisants les caractères qui avaient servi à les établir. En anatomie expérimentale, l'action du milieu sur la structure des plantes et les adaptations que celles-ci peuvent présenter dans les diverses conditions de végétations ont préoccupé nombre d'observateurs. L'influence du climat alpin, en particulier, a été étudiée par M. Bonnier, grâce à des cultures comparées à des altitudes différentes, dans le but de rechercher non seulement de quelle manière le milieu extérieur modifie les diverses fonctions, mais aussi de quelle façon la forme et la structure de l'organisme se trouvent elles-mêmes influencées. M. Bonnier a constaté aussi que la lumière électrique permet d'obtenir les mêmes effets que la lumière solaire; il a pu alors, avec la lumière électrique continue, réaliser des conditions suffisamment semblables à celles des contrées arctiques, et obtenir dans la structure des plantes les mêmes caractères que ceux qu'on observe naturellement dans les régions polaires.

Nous n'avons plus à revenir sur les progrès faits dans la connaissance des diastases. Par contre, bien contradictoires paraissent les résultats obtenus dans l'étude de la chlorophylle, dont le rôle est si important dans la végétation. La pénétration et la sortie des gaz sur lesquels la plante exerce son action ou qui sont produits par

elle, ont été élucidées par un certain nombre d'auteurs, par M. Mangin surtout, qui a montré le rôle prépondérant joué par les stomates. A la suite de MM. Bonnier et Mangin, M. Th. Schlœsing a continué l'étude du bilan des échanges gazeux pendant la durée de la végétation. Après l'assimilation du carbone, l'attention s'est portée sur l'assimilation des nitrates, qui se produit sous l'influence des radiations violettes et ultra-violettes; il résulte de ces études que la fonction chlorophyllienne doit être entendue, aujourd'hui, dans un sens plus large que jadis, comme la fonction présidant à la synthèse des hydrates de carbone et des matières azotées. Ce sont des problèmes d'une importance capitale pour la physiologie végétale.

II

LES ORGANISMES INFÉRIEURS ET LES APPLICATIONS AGRONOMIQUES.

L'étude des plantes et des animaux inférieurs a pris un développement considérable, quand on s'est rendu compte qu'on pouvait y trouver l'explication de bien des faits, vainement cherchée chez les êtres d'organisation supérieure. L'intérêt de ces études s'est encore accru quand les travaux de Pasteur ont montré le rôle immense joué par certains organismes inférieurs. Aussi, les champignons sont-ils actuellement l'objet d'un grand nombre de travaux. Cette classe de plantes présente d'ailleurs, au point de vue physiologique, une particularité intéressante, la plupart des champignons ressemblant aux animaux par le mécanisme intime de leur nutrition et ne pouvant comme eux utiliser directement l'énergie solaire.

L'étude des champignons appelle l'attention sur un des plus hauts problèmes de philosophie biologique, je veux parler du problème de l'espèce. Si l'histologie a fourni le moyen de mieux circonscrire cet embranchement et d'opérer maints remaniements dans les classifications, les données immédiates de l'observation sont souvent restées insuffisantes, parce qu'elles ne portaient que sur des fructifications imparfaites. Il a fallu entrer de plus en plus dans la voie des cultures,

en partant de semences pures. Mais on s'est aperçu que la question du terrain est plus complexe que celle de la semence. Tandis que les phanérogames ont une évolution fixe et déploient leurs organes dans un ordre de succession régulière, dès qu'elles ont un terrain favorable, les champignons, au contraire, produisent, dans des milieux différents, des formes végétatives variées et des fructifications polymorphes, dont l'apparition est livrée au hasard de la présence des milieux qui conviennent à chacune d'elles. Le milieu optimum, tel que l'avait conçu et réalisé Raulin, ne convient qu'à la manifestation d'une partie des propriétés d'une espèce; l'optimum varie, pour une même espèce, suivant qu'on envisage telle ou telle particularité, comme le poids de la récolte, l'activité de la fermentation, la formation d'un organe reproducteur. D'autre part, les classifications purement morphologiques peuvent être insuffisantes. Des travaux récents ont mis en évidence, dans certains cas, des différences nouvelles plus faciles à constater que les différences morphologiques. Des espèces, encore confondues par l'insuffisance de l'analyse morphologique, se séparent sur le terrain biologique. Ainsi, certaines urédinées hétéroïques ont un hôte commun sur lequel on ne parvient pas à les distinguer, mais se séparent sur le choix d'un second hôte. On comprend quelles difficultés il peut y avoir à établir la limite entre deux espèces sœurs et de simples races éthologiques.

Toutes ces études n'ont pas seulement un intérêt théorique; elles ont eu de grandes conséquences pratiques. L'industrie des fermentations sous toutes ses formes a été transformée, grâce à l'étude biologique des levures et d'autres champignons et aux progrès de la chimie des ferments de ces végétaux. Nous parlerons plus loin des maladies de l'homme et des animaux produites par les bacilles qui appartiennent pour la plupart au groupe des champignons. L'étude des maladies des plantes a pris aussi un grand essor, et dans les traités sur ce sujet, comme celui de M. Prillieux, les champignons prennent une place de plus en plus envahissante; ces champignons parasites sont l'objet de recherches biologiques qui permettent aux praticiens de réaliser une prophylaxie rationnelle. Ils jouent d'ailleurs quelquefois un rôle utile, et, tout récemment, M. Noël Bernard était amené à découvrir

dans un champignon la cause de la tuberculisation de la pomme de terre.

L'histoire des algues n'est guère d'un moindre intérêt que celle des champignons; leur extrême variété d'organisation a fourni aux histologistes et aux physiologistes d'inappréciables matériaux de recherches. Les études de Thuret et de Pringsheim, puis de MM. de Bary, Bornet et Cohn, sont depuis longtemps classiques. Plus récemment, on a signalé des faits extrêmement intéressants au point de vue de la physiologie générale de la reproduction, et établi que l'alternance des générations, loin d'être invariable chez certaines algues, est déterminée par les conditions extérieures. Le polymorphisme a été l'objet de nombreuses recherches, notamment de M. Sauvageau. Dans différents groupes d'algues, comme chez les bactéries, la plante est capable de s'adapter, dans une certaine mesure et promptement, aux conditions variables du milieu physico-chimique où elle vit; mais, jusqu'ici, on a toujours trouvé des limites à ce polymorphisme, et, si la notion d'espèce s'est trouvée étendue, elle n'a pas été profondément modifiée. Rappelons encore les symbioses entre algues et animaux, d'autant que les faits de parasitisme prennent aujourd'hui un intérêt considérable en biologie générale.

Les sciences agronomiques sont une application de la botanique; dans ce domaine, les quinze dernières années ont vu des découvertes d'un intérêt considérable. Voilà vingt ans que MM. Schlœsing et Müntz, en découvrant le ferment nitrique, ont fait voir que la nutrition végétale est en rapport étroit avec quelques-uns des microorganismes qui évoluent dans les profondeurs du sol, mais on était alors loin de penser que l'union de la plante avec la bactérie peut, chez certaines espèces, se changer en une véritable symbiose profitable à la végétation. M. Berthelot avait reconnu, en 1886, que l'association de certains organismes aérobies avec les plantes de grande culture est favorable à celles-ci en même temps qu'avantageuse pour le sol qui les porte; sous la seule influence apparente du temps, le sol s'enrichit peu à peu en azote. Ces résultats inattendus posaient encore une fois la grosse question de la fixation de l'azote végétal. La discussion soulevée fut terminée par les expériences de MM. Hellriegel et

Wilfarth qui firent connaître le mécanisme à l'aide duquel les légumineuses fixent l'azote de l'air. Ces deux savants établirent que les nodosités des racines des légumineuses sont les organes nécessaires de cette fixation; grâce à ces nodosités, les légumineuses peuvent se développer normalement même en l'absence de tout élément azoté. On reconnut que ces nodosités sont de véritables réceptacles d'un bacille polymorphe, qu'il est possible de cultiver en bouillon sans lui faire perdre sa faculté caractéristique d'absorber l'azote de l'air et de déterminer par ensemencement l'apparition de tubercules sur les racines des légumineuses.

L'amélioration du sol par les légumineuses tient donc à ce que les plantes fixent directement l'azote de l'air, dont une partie reste en terre après la récolte. L'amélioration des prairies naturelles, ainsi que l'enrichissement progressif des sols dénudés, a une autre origine, mais c'est encore à des organismes inférieurs qu'il faut l'attribuer. Il résulte des travaux de MM. Th. Schlœsing et Laurent que, en présence de certaines espèces microbiennes encore mal définies, les algues vulgaires fixent aussi l'azote atmosphérique; de plus, M. Winogradsky a isolé de la terre une bactérie anaérobie qui, dans un milieu mal aéré, au contact d'autres espèces aérobies, absorbe l'azote gazeux sans le concours des végétaux supérieurs.

Les enseignements qui ressortent de ces découvertes sont pour l'agriculture de tout premier ordre. Elle devra désormais compter avec les infiniment petits; l'absence de certains microbes dans la terre peut être aussi préjudiciable que le manque d'eau, de lumière ou d'engrais.

En même temps que l'agronome trouvait l'explication de faits très importants, nos idées sur le rôle des cellules sans chlorophylle ont été considérablement modifiées. La découverte de cellules incolores, comme les nitrobactéries, qui, en dehors de l'action de la lumière solaire, peuvent décomposer l'acide carbonique et assimiler les substances organiques, est pour le biologiste du plus haut intérêt.

III

LA ZOOLOGIE ET LES THÉORIES BIOLOGIQUES.

En zoologie, comme en botanique, les observateurs continuent, chaque jour, à compléter le répertoire des animaux. Les découvertes géographiques ont beaucoup contribué à cette extension de nos connaissances, et l'exploration des grandes profondeurs océaniques a amené au jour des animaux jusque-là inconnus.

Comme nous le disions tout à l'heure, pour toute une partie de la biologie, la distinction entre zoologie et botanique est sans objet. Ainsi les recherches sur la division de la cellule concernent la biologie générale; peut-être seulement sont-elles plus faciles sur les animaux que sur les plantes. Ces belles études sont surtout morphologiques; si, voulant aller plus loin, on se demande quelle est la cause actuelle de cette division, on entre dans un domaine bien obscur, où il faut se méfier des explications de mots. Il y a sans doute une action du noyau sur le cytoplasme; les stimulus chimiques doivent jouer un rôle important, et on peut faire des comparaisons avec les productions connues sous le nom de noix de galle se rencontrant chez les végétaux et les animaux. Mais, à supposer même que l'on puisse mettre en évidence des diastases sécrétées par le noyau, dans quelle mesure aurait-on trouvé une explication de la division et de la différenciation cellulaires?

La biologie tout entière est aujourd'hui dominée par l'idée d'*évolution*, idée qui est, d'ailleurs, un ferment puissant dans d'autres domaines, comme la philosophie, l'histoire, la sociologie. Deux problèmes distincts s'y rattachent : d'abord, la question de l'évolution d'un organisme individuel, c'est-à-dire du cycle des apparences qu'il présente depuis son origine dans l'œuf jusqu'à sa mort, et, en second lieu, l'histoire au cours des âges des organismes si complexes que nous rencontrons dans le règne animal et dans le règne végétal. Ce sont, suivant l'expression de Hæckel, l'*ontogénie* et la *phylogénie*.

L'ontogénie, ou embryogénie générale, est seule accessible à une

IMPRIMERIE NATIONALE.

étude scientifique directe. C'est aujourd'hui une partie de la science d'une importance capitale : quelques-unes de ses conclusions sur le développement des êtres vivants paraissent définitivement acquises. L'embryogénie de la cellule, dont j'ai déjà parlé en botanique, a une grande part dans l'embryogénie générale. Les cellules constituant le corps d'un métazoaire se divisent de bonne heure en cellules somatiques et cellules gonadiales destinées à la reproduction, distinction qui se trouve chez tous les animaux et végétaux. La réduction karyogamique, capitale parce qu'elle prépare la fécondation, a fait l'objet en zoologie, comme en botanique, d'un grand nombre de recherches concordantes; peut-être une question reste-t-elle encore en suspens, c'est de savoir si cette réduction est seulement quantitative ou si elle est en même temps qualitative, point qui n'est pas sans importance pour certaines théories de l'hérédité.

Dans l'étude de la formation des êtres aux dépens de l'œuf fécondé, la théorie des feuillets blastodermiques domine la morphologie pure. On peut rattacher la conception des feuillets blastodermiques au nom de Huxley, qui avait été frappé de la similitude générale de constitution de tous les métazoaires, et de de Blainville, qui disait déjà dans ses cours : « L'homme est un tube digestif retourné ». Les anatomistes étaient ainsi arrivés à l'homologie des feuillets chez les divers animaux; c'était là, d'ailleurs, des analogies encore hypothétiques plutôt que de véritables homologies. Ces notions ont pu se préciser grâce aux progrès de la cytologie, et les idées avancées par Huxley et de Blainville ont pu être vérifiées, dans ces dernières années, par suite des perfectionnements du microscope. On vit que, chez tous les êtres dont l'évolution est demeurée simple et explicite, il y avait un développement similaire; c'est surtout à M. A. Kowaleski qu'on doit d'avoir montré, dans une série d'études sur des animaux de types très divers, qu'on rencontrait partout une même forme embryonnaire, désignée dès 1872 par Hæckel sous le nom de *gastrula* : celle-ci a un ectoderme, un mésoderme et un endoderme, et forme le premier stade normal dans la différenciation. Des travaux sans nombre ont été effectués, dans toute la série animale, sur le développement de cette forme primitive. La théorie de la gastrula permet de voir comment les métazoaires ont pu

se constituer morphologiquement; elle donne une base solide à l'anatomie comparée. Ainsi, chez les animaux supérieurs, l'ectoderme de l'embryon devient le tégument externe et tout ce qui en dérive, l'endoderme donne le tube digestif et ses annexes ainsi que le poumon; le mésoderme donne les muscles, les vaisseaux, les séreuses. Quelques objections ont bien été élevées contre la théorie générale de la gastrula. Une des plus importantes a été tirée de l'embryogénie des éponges; il n'y a peut-être dans ces difficultés qu'une question d'interprétation sur la valeur donnée à la position topographique des feuillets.

L'étude approfondie du développement des organismes a révélé des faits extrêmement curieux. D'une façon générale et en gros, la ligne d'évolution d'un type organique est constante, mais il y a des cas où il en est autrement. Dans une même espèce aussi peu variable que possible à l'état adulte, on rencontre parfois des formes embryonnaires très différentes les unes des autres, lorsqu'on étudie le développement des embryons en divers points de l'habitat de l'espèce considérée ou dans des milieux différents: ce sont les cas que M. Giard, qui les a étudiés d'une manière très suivie, désigne sous le nom de *pœcilogonie*. Ainsi, certains crustacés, identiques à l'état adulte, offrent un développement différent suivant qu'ils vivent dans l'eau douce ou dans l'eau salée. Tous ces faits d'évolution plus ou moins condensée, sur lesquels M. Giard et M. Perrier ont appelé vivement l'attention, sont des plus importants pour l'embryogénie comparée, en même temps qu'ils apportent une preuve de la modification par les conditions extérieures. Ils se rattachent à une autre particularité non moins remarquable, la progénèse, cas dans lequel la reproduction sexuée se fait d'une façon plus ou moins prématurée, et qui rend plus compréhensibles les curieux phénomènes désignés autrefois sous le nom de générations alternantes. Que de faits importants seraient encore à citer! comme, par exemple, les phénomènes de castration parasitaire, magistralement étudiés par M. Giard, qu'entraîne dans l'organisme d'un être vivant la présence d'un parasite agissant directement ou indirectement sur la fonction génitale de son hôte. Ces recherches ne se bornent pas, d'ailleurs, à l'observation pure; l'expérimentation s'introduit de plus en plus en zoologie.

D'un grand intérêt à cet égard sont les expériences de M. Boveri et de M. Delage sur la fécondation mérogonique, où une portion d'œuf sans noyau se montre susceptible d'être fécondée. Il en est de même des travaux de M. Lœb qui obtient, paraît-il, des larves avec des œufs d'oursins non fécondés, plongés dans l'eau de mer additionnée de chlorure de potassium, ou dans de l'eau additionnée de substances organiques comme le sucre de canne, et qui croit pouvoir en conclure que ce développement parthénogénétique est provoqué uniquement par le changement de pouvoir osmotique de l'eau ambiante. Tel autre mémoire récent de M. Delage traite du déterminisme de la parthogénèse expérimentale. Les interprétations de ces expériences et d'autres encore ne sont probablement pas définitives, mais un grand avenir est, sans nul doute, réservé à l'embryogénie expérimentale.

Si l'ontogénie est accessible à une étude scientifique directe, il n'en est pas de même de la *phylogénie,* du moins si on pose le problème phylogénique dans toute sa généralité. Les observations des zoologistes, complétées par les données de la paléontologie, ont démontré, de la manière la plus nette, la plasticité d'un grand nombre d'espèces. Ces variations ont donné à penser que toutes les espèces vivant actuellement proviennent d'une souche commune. Cette hypothèse ne paraît pas susceptible d'une véritable démonstration; elle joue dans la biologie moderne le rôle d'un postulat, et on doit la considérer comme un admirable instrument de recherche et de travail. Au fond, sa valeur objective importe peu; il serait exagéré de dire qu'elle n'intéresse pas plus le naturaliste que l'existence de l'éther importe au physicien, mais la comparaison, mauvaise par quelque côté comme toutes les comparaisons, aurait cependant quelque justesse. La théorie de la descendance, comme toutes les théories, permet de relier des faits épars, elle rend compte de détails d'organisation et de développements, et permet même parfois d'en apercevoir de nouveaux. En poursuivant le but probablement chimérique de dresser l'arbre généalogique des animaux et des plantes, le naturaliste moderne, guidé par une idée directrice, est conduit à étudier l'action des milieux et à séparer ce qui, dans le développement, revient à ceux-ci, et ce qui est l'héritage d'ancêtres disparus.

Lamarck, le vrai fondateur de la théorie de la descendance, avait autrefois insisté sur un des facteurs primaires de l'évolution, l'usage, et sur l'hérédité des effets acquis par l'usage. Au nom de Darwin se rattachent surtout les facteurs secondaires, la sélection naturelle, par laquelle se fixent les variations, et la concurrence vitale, et ce n'est qu'avec une extrême réserve que le grand naturaliste anglais a abordé l'action des milieux. Peu de biologistes attachent aujourd'hui à la sélection naturelle l'importance que leur attribuait Darwin; elle est un processus conservateur et accélérateur, mais non édificateur.

Le problème est extraordinairement complexe, et la liste est longue des facteurs primaires, directs ou indirects, de l'évolution et des facteurs secondaires. Des théories variées ont vu le jour ; certains naturalistes ont même nié l'hérédité des caractères acquis, comme M. Weissmann, qui complète la sélection des variations accidentelles par sa théorie de la continuité du plasma génératif. Rien de définitif ne se dégage de cet ensemble de doctrines proposées, souvent peu précises. Tout en tenant compte de l'action des causes extérieures et en reconnaissant que l'avenir d'un être n'est pas rigoureusement déterminé par l'hérédité, on ne doit pas, semble-t-il, méconnaître une prédétermination réelle, celle-ci pouvant être rattachée, dans une certaine mesure, aux causes actuelles, mais ayant agi antérieurement et déterminant dans l'œuf les conditions dans lesquelles il évolue : ce sont ces virtualités que nous désignons sous le terme vague d'hérédité. Un point doit aussi être particulièrement signalé : je veux parler des variations brusques qui, d'un seul coup, produisent un type nouveau. Si cette discontinuité de variations n'est pas applicable à tous les cas, on ne peut douter qu'il y a des espèces nées par variations brusques. C'est ce qu'avaient déjà vu, il y a longtemps, Decaisne et Naudin, et, récemment, M. Hugo de Vries a obtenu, à ce sujet, des résultats extrêmement remarquables dans la culture de certains *Œnanthera :* des espèces nouvelles se sont montrées subitement, sans intermédiaires ni préliminaires, et sont restées fixes. Dans quelles théories pourra-t-on faire rentrer ces variations singulières en discordance avec nos idées sur la continuité ?

Quant à la reconstitution des arbres généalogiques des animaux et

des plantes, qu'on trouve aujourd'hui dans les travaux de la nouvelle école embryogénique, elle est très utile, pourvu que l'on n'ait pas la prétention d'affirmer que ces arbres sont l'expression exacte de la vérité. Dans cette tentative, rendue déjà si difficile par l'insuffisance des données paléontologiques, un obstacle considérable surgit à chaque instant : je veux parler de la *convergence* des espèces, fait remarquable sur lequel ont insisté de nombreux naturalistes, parmi lesquels MM. Giard et Carl Vogt, consistant en ce que des types phylogénétiquement séparés deviennent, grâce à certaines influences biologiques, entièrement semblables dans leur apparence extérieure. Mais, nous l'avons déjà dit, si le but est quelque peu chimérique, il conduit à une méthode de travail d'une merveilleuse fécondité, et l'idée d'évolution domine aujourd'hui toutes les sciences biologiques.

IV

LA DISTRIBUTION DES ÊTRES VIVANTS ET LA PALÉONTOLOGIE.

Sous l'influence de l'idée d'évolution, des études qui n'étaient autrefois que de simples objets de curiosité, ont pris une importance considérable. Telle est l'étude de la distribution géographique des êtres vivants, où on peut aller chercher des documents pour ou contre la parenté présumée de telles ou telles formes d'animaux et de végétaux.

Dans le monde animal, les grandes explorations sous-marines effectuées depuis vingt ans ont conduit à des résultats remarquables. « Les récoltes réalisées, dit M. Edmond Perrier, qui a fait de cette question une étude approfondie, ont dépassé tout ce que l'imagination pouvait rêver. Une multitude de formes nouvelles ont été ajoutées aux listes déjà si longues des zoologistes; ce sont, en général, des formes spéciales, apparentées tout aussi bien aux espèces actuelles qu'aux espèces anciennes, alliées à beaucoup de nos formes littorales, mais ayant leur cachet particulier, portant l'empreinte de leur étrange existence et constituant un ensemble que l'on a justement caractérisé du nom de *faune des abîmes*. »

A son tour, depuis dix ans environ, la géographie botanique est entrée dans une voie nouvelle; elle est sortie de son état d'indécision pour prendre les allures d'une science établie, avec un programme nettement défini. Il fallait coordonner les faits innombrables accumulés par les voyageurs. Les uns ont mis en relief les rapports de la végétation avec le milieu et le climat, d'autres se sont occupés de l'aire de dispersion des espèces et des différents groupes; d'autres, enfin, ont abordé le problème du développement des végétaux à travers les âges. En particulier, la botanique écologique cherche à déterminer comment les plantes subissent l'influence des forces extérieures, de la température, de la lumière, des aliments, etc., et comment elles y adaptent leurs formes. Le traité de M. Warming et le magistral ouvrage de M. Schimper tiennent une place considérable dans l'œuvre de ces dix dernières années. Une phalange de botanistes ont abandonné leurs laboratoires pour demander aux pays lointains de nouveaux sujets d'études, et, en quelques années, leurs observations ont fourni à la physiologie expérimentale une foule de faits nouveaux qu'elle soumet à son contrôle et qu'elle cherche à expliquer. Ainsi, pour prendre un exemple, les observations de M. Bonnier et de M. Flahaut, en Scandinavie, et les cultures de M. Bonnier dans les Alpes, ont précisé les relations des plantes arctiques et alpines avec les climats sous lesquels elles vivent : des faits, comme la transformation, sous l'influence des climats polaires, d'une espèce annuelle en une espèce bisannuelle, et de celle-ci en une espèce vivace, sont d'une haute portée.

De la phytogéographie à la botanique fossile, la transition est immédiate. Comme le disait déjà de Candolle, la géographie botanique doit avoir pour but principal de montrer ce qui, dans la distribution actuelle des végétaux, peut s'expliquer par les conditions actuelles des climats et ce qui dépend des conditions antérieures. La question est serrée de plus en plus près à mesure que des données plus anciennes et plus nombreuses sont fournies par la paléobotanique. Celle-ci s'est notablement développée depuis quinze ans, et quelques résultats généraux doivent être notés.

La présence d'un microbe dans le terrain houiller de Saint-Étienne avait été signalée autrefois par M. van Tieghem; on doit à M. Bernard

Renault une étude approfondie des bactériacées fossiles qui se montrent en abondance dans presque tous les débris organiques fossiles. Ainsi qu'on devait s'y attendre, on retrouve, dans les combustibles fossiles eux-mêmes, des bactériacées en abondance, et M. Renault pense qu'elles ont été les agents de la transformation en houille ou en lignite. Les travaux de M. Zeiller, sur les végétaux des périodes paléozoïques et secondaires, ont apporté une importante contribution à la botanique fossile; quelques-uns ont résolu des questions controversées sur certains caractères distinctifs entre les cryptogames vasculaires et les gymnospermes, question dont l'intérêt s'étend à la botanique générale. Le savant paléontologiste vient de publier un traité de botanique fossile qui donne l'état actuel de cette partie de la science. On doit, naturellement, chercher à dégager les renseignements que les observations actuellement acquises sont susceptibles de fournir sur le problème des liens génériques qui peuvent exister entre les divers types végétaux qui se sont succédé à la surface du globe. Il paraît ressortir d'un examen attentif que les groupes principaux du règne végétal, embranchements et classes, et dans chaque classe, les groupes génériques, se sont montrés dès les époques les plus anciennes. Cependant certains types éteints, s'intercalant entre ceux que nous observons aujourd'hui, viennent augmenter le nombre des termes de la série, et établissent parfois des liaisons entre des groupes aujourd'hui bien tranchés; c'est ainsi qu'il semble exister des intermédiaires entre les fougères et les cycadinées. Par contre, tout indice de filiation nous échappe en ce qui concerne les angiospermes. On peut dire, d'une manière générale, avec M. Zeiller, que l'on constate actuellement l'existence de séries plus ou moins discontinues, à termes assez rapprochés, pour que l'on doive conclure à une évolution progressive, mais dans laquelle les modifications se seraient le plus souvent opérées assez rapidement pour que nous ne puissions pas les saisir sur le fait. Il n'y a pas lieu d'être étonné de cette conclusion, si on se rappelle ce que nous avons dit plus haut des variations brusques en signalant les belles observations de M. H. de Vries.

Les conclusions auxquelles nous venons d'arriver en paléontologie végétale s'appliquent dans une large mesure à la paléontologie ani-

male. Ici, d'ailleurs, l'abondance des documents est bien autrement considérable. D'importantes trouvailles ont été faites, qui sont venues combler plusieurs lacunes. Chez les vertébrés, on doit signaler particulièrement les reptiles pareiasauriens du permien du nord de la Russie, identiques avec ceux de l'Afrique australe et recueillis avec les débris de la même flore. D'autre part, depuis vingt-cinq ans, les descriptions des dinosauriens se sont multipliées ; on connaît les iguanodons de Bernissart, qui excitent, au musée de Bruxelles, la stupéfaction du public et l'admiration des naturalistes ; mais ce sont surtout les dépôts secondaires des États-Unis qui fournissent les débris les plus complets et les plus nombreux de dinosauriens. Ils ont été étudiés par Marsh et M. Cope, et on peut voir au musée de l'Université Yale, à New-Haven, une merveilleuse collection de ces étranges reptiles, dont le port est parfois celui des mammifères, et dont quelques-uns se rapprochent des oiseaux par leurs caractères ostéologiques. Certains d'entre eux étaient gigantesques, comme l'Atlantosaurus dont Marsh estime la longueur à plus de 35 mètres, et le Brontosaurus, dont le squelette, complètement connu, a une longueur de 20 mètres. Nos connaissances se sont aussi augmentées sur les faunes qui ont vécu jadis en Patagonie ; les mammifères crétacés de cette partie de l'Amérique ont, au point de vue évolutif et phylogénique, une réelle importance.

Les vertébrés fossiles, dont on tente de belles restitutions, attirent surtout l'attention du public; non moins utiles à bien des égards, sont, pour le géologue, les restes des invertébrés. Un résultat remarquable de ces vingt dernières années est la découverte, dans les régions himalayenne, indienne et sibérienne, de riches faunes de céphalopodes faisant connaître les types marins d'étages (houiller, permien, trias) qui n'étaient guère connus en Europe que par leurs types continentaux. La connaissance de l'évolution de ces mollusques dibranchiaux y a beaucoup gagné en précision, et on peut maintenant suivre avec sûreté toutes les phases du développement de la grande famille des ammonoïdés, si précieuse pour la classification rigoureuse des étages, depuis le dévonien jusqu'à la fin des temps secondaires; les recherches de M. Munier-Chalmas, sur les loges et les cloisons des ammonites, sont dans cette question d'un haut intérêt. Rien n'est

plus captivant que l'étude des premières apparitions de la vie à la surface de la terre; mais, malheureusement, on a rencontré bien peu de fossiles au-dessous du terrain cambrien : ce sont des traces de radiolaires, de foraminifères et de spongiaires. Il semble, d'après M. Barrois, que la Bretagne ait, jusqu'à présent, fourni la faune la plus ancienne. On a quelques raisons de croire que cette faune est loin d'être la faune vraiment primordiale; mais peut-être, comme le pense M. Bergeron, ne doit-on conserver que peu d'espoir de rencontrer des fossiles dans les sédiments précambriens, à cause du métamorphisme subi par ces terrains. Il faudrait alors perdre tout espoir de remonter plus avant dans l'histoire de la vie sur notre planète. On ne peut, en parlant de paléontologie, omettre de rappeler les efforts de M. Albert Gaudry et de ses disciples, couronnés d'un si magnifique succès, pour créer au Muséum d'histoire naturelle une galerie de paléontologie. Cette admirable collection permet de suivre les changements des êtres depuis les temps primaires jusqu'à nos jours et fait honneur à la paléontologie française.

CHAPITRE VIII.

LA MÉDECINE ET LES THÉORIES MICROBIENNES.

S'il est une partie de la science se trouvant actuellement dans une transformation complète, et qui soit à un véritable tournant de son histoire, c'est assurément la médecine. Non pas que l'observation clinique doive être suivie avec moins de soin que par le passé; elle sera toujours essentielle pour le médecin praticien qui doit analyser les symptômes morbides permettant d'établir sûrement un diagnostic. Nulle part peut-être, depuis quarante ans, l'analyse de ces symptômes n'a été poussée plus loin qu'en neuro-pathologie; ils amenèrent la découverte des lésions systématiques de l'axe nerveux, des lésions de l'aphasie, de la cécité et de la surdité verbales. Sous l'influence des progrès de la physiologie, la médecine, peu à peu, a cessé de se confiner uniquement dans l'observation, et les faits observés ont suggéré des expériences, quelquefois sur l'homme, le plus souvent sur les animaux. C'est ainsi que la médecine a été naturellement conduite à devenir expérimentale, et on peut rattacher surtout à cette transformation le nom de Claude Bernard, dont un beau livre a précisément pour titre : *La Médecine expérimentale.* Une des plus importantes découvertes du grand physiologiste est celle des sécrétions internes dont le rôle apparaît, de plus, considérable, soit pour la constitution du sang, soit pour l'établissement d'une sorte de solidarité humorale entre toutes les parties de l'organisme. Quelques-unes sont sans doute à rapprocher des ferments solubles sécrétés par les cellules, des ptomaïnes et leucomaïnes, toxines et antitoxines, sur lesquels les recherches de M. Armand Gautier et de M. Bouchard appelèrent d'abord l'attention, et qui font aujourd'hui l'objet de tant de travaux. A un point de vue pratique, on se rappelle les tentatives de Brown-Sequart et celles de plusieurs de ses élèves, pour fonder une opothérapie; seule l'opothérapie thyroïdienne s'est montrée d'une réelle efficacité dans les cas du goître et du crétinisme.

La transformation de la médecine, commencée sous l'influence des

physiologistes, s'est prodigieusement accélérée à la suite des incomparables découvertes de Pasteur. Les études microbiologiques ont alors envahi toute une partie de la médecine. A la place d'entités morbides et de mots souvent vides de sens, apparurent des organismes microscopiques, véritables causes de la maladie, d'autant que, dans ce qu'on pourrait appeler l'âge d'or des découvertes pastoriennes, on ne vit que le microbe, laissant ainsi de côté une moitié du problème. Comme il arrive le plus souvent dans toute étude nouvelle et féconde, après l'âge héroïque où tout paraît simple, les difficultés se présentèrent. Il fallut tenir compte de la résistance de l'organisme contre l'agent infectieux; on dut chercher à l'expliquer, ainsi que les phénomènes d'immunité que venait de découvrir Pasteur, sous peine de rentrer dans la phraséologie tant reprochée à la médecine d'autrefois. C'est à quoi on travaille depuis vingt ans avec une merveilleuse ardeur : les faits nouveaux s'accumulent, des explications au moins partielles s'ébauchent, et la nosologie, les conceptions étiologiques, la thérapeutique se trouvent transformées.

Nous avons déjà vu plus haut le rôle important des bactéries en chimie, en botanique et en agronomie; nous devons maintenant dire un mot des maladies infectieuses et des doctrines qui se sont développées à la suite des découvertes de Pasteur. Dès le début, une difficulté se présente relativement au polymorphisme des microbes. Parmi les microbiologistes, les uns se prononcent pour la spécificité absolue. Pour d'autres, les espèces microbiennes ne sont pas aussi nettement délimitées; le bacille tuberculeux, par exemple, existe sous plusieurs formes différentes par leur virulence vis-à-vis de certains animaux, et on connaît aussi une série de bacilles pseudodiphtériques. Il est probable que ce sont là seulement des variétés d'une même espèce.

Passons rapidement en revue quelques maladies infectieuses. Le microbe du choléra et celui de la tuberculose ont été découverts par M. Koch en 1882. Lors de l'épidémie de Hambourg, en 1892, on a découvert dans l'eau une série de microbes ressemblant beaucoup aux vibrions cholériques; en cultivant ce vibrion dans l'eau peptonisée, on a obtenu sa toxine, c'est-à-dire le poison qu'il sécrète. Le microbe de

la peste fut découvert, en 1894, par M. Yersin : c'est un bâtonnet court et ovale, doué de motilité, assez semblable à celui du choléra des poules. Pour la diphtérie, MM. Roux et Yersin ont fait, en 1889, l'étude complète du poison diphtérique, à la suite de laquelle M. Behring a découvert la sérothérapie diphtérique appelée à un si grand avenir et dont MM. Richet et Héricourt avaient antérieurement posé le principe. Le bacille du tétanos a été décrit pour la première fois par M. Nicolaier, en 1885, et M. Kitasato a fait une étude approfondie de la redoutable toxine sécrétée par ce microbe. Le microbe de la lèpre est depuis longtemps connu, mais on n'a pas jusqu'ici réussi à le cultiver. Rien de net ne se dégage des nombreuses études faites sur le cancer; plusieurs théories sont en présence, théorie coccidienne, théorie blastomycétienne, d'après laquelle il y aurait une levure pathogène, et enfin théorie de la spécificité cellulaire faisant résulter le cancer d'une évolution anormale des cellules de l'organisme. M. Laveran a fait connaître l'hématozoaire qui est l'agent pathogène du paludisme, endémie redoutable, dont l'empire est immense et qui constitue le principal obstacle à l'acclimatement des Européens dans la plupart des pays chauds; il a été conduit à présumer que ce microbe devait, dans le milieu extérieur, se trouver à l'état de parasite de certains moustiques, induction vérifiée depuis par M. Ross et qui a permis d'instituer une prophylaxie rationnelle du paludisme.

Je parlais tout à l'heure de l'âge héroïque des théories microbiennes; c'était, il y a vingt ans, quand Pasteur découvrait la vaccination expérimentale par l'injection des cultures microbiennes atténuées. Pasteur expliquait d'abord l'immunité acquise en supposant que le microbe appauvrit le milieu en y vivant; il pensa plus tard que le microbe pouvait sécréter des produits qui lui sont nuisibles, doctrine que professait de son côté M. Chauveau. La théorie des sérums bactéricides et celle des sérums antitoxiques se fonda alors à la suite des travaux de MM. Bouchard et Charrin, de M. Behring et de bien d'autres. Parallèlement, se développait une doctrine des plus remarquables, relative à la résistance de l'organisme, la théorie phagocytaire. Déjà, depuis longtemps, M. Virchow avait vu que, dans la plu-

part des maladies infectieuses, il y a surabondance de leucocytes; seulement il leur attribuait un rôle néfaste. Cohneim, depuis, avait identifié les globules du pus et les leucocytes, et M. Koch avait constaté que, chez la grenouille, les globules entourent la bactéridie charbonneuse. On a vu plus tard que les microbes ne pénètrent pas d'eux-mêmes dans les cellules amiboïdes; ils sont englobés, et c'est en cela que consite la *phagocytose*, acte de défense naturelle de l'organisme, auquel restera attaché le nom de M. Metschnikoff. Chez les vertébrés, il y a des phagocytes libres et des phagocytes fixes. Parmi les phagocytes libres, on doit distinguer les globules polynucléaires, les plus nombreux chez l'homme, et les globules mononucléaires.

Les phagocytes fixes sont, entre autres, les cellules de la pulpe splénique, de la moelle des os, des ganglions lymphatiques. Les phagocytes libres ont une sensibilité très développée pour la composition chimique du milieu; c'est ce qu'on appelle la chimiotaxie, qui est positive ou négative suivant qu'il y a attraction ou répulsion. Les mononucléaires et les phagocytes fixes sont surtout macrophages, ils détruisent les éléments morts; les polynucléaires sont des microphages destructeurs de microbes. Dans les maladies très aiguës, il y a peu de phagocytes libres, il y a au contraire une phagocytose très intense dans les maladies chroniques, et plus encore dans les maladies bénignes. Il est rare qu'un microbe, qui a pu être englobé, ne soit pas détruit, mais cela arrive pourtant, par exemple pour le bacille de la tuberculose. Une objection grave a été faite à la phagocytose, envisagée comme protection de l'organisme : c'est que les microbes ne peuvent être englobés qu'après avoir été privés de leurs pouvoirs toxigènes par une action antitoxique extracellulaire. On a répondu que les phagocytes peuvent, au contraire, englober non seulement les microbes, mais des toxines et des poisons minéraux. Pour M. Metschnikoff, l'immunité naturelle et l'immunité acquise s'expliquent par la phagocytose, et le phénomène le plus général dans l'immunité consiste dans une réaction phagocytaire. On se heurte encore à bien des difficultés, ici comme d'ailleurs dans les théories humorales, quand on veut descendre au détail, et on est parfois obligé de raisonner sur des sécrétions cellulaires plus ou moins hypothétiques. Quoi

qu'il en soit, ces diverses doctrines renferment certainement une grande part de vérité, et le problème capital de la résistance de l'organisme est chaque jour serré de plus près.

De tout cela, ressort suffisamment l'importance que prennent les toxines, les antitoxines et, d'une manière plus générale, les ferments solubles désignés sous le nom de diastases, ce dont nous avions déjà donné de nombreux exemples. Presque chaque jour voit apparaître de nouvelles substances, et, après les *alexines*, on invoque maintenant des *anticorps* pour l'interprétation des faits si remarquables, découverts par M. Bordet relatifs à l'action des sérums de différentes espèces les uns sur les autres. La chimie biologique a une œuvre immense à accomplir avec l'étude de ces composés si complexes, sur lesquels nous avons tant à apprendre. Au surplus, des substances beaucoup plus simples, comme certains métaux, peuvent jouer dans l'organisme un rôle longtemps méconnu. Tel est l'arsenic, d'après les dernières recherches de M. A. Gautier; l'éminent chimiste est conduit à admettre, chez les êtres vivants, l'existence non pas transitoire, mais nécessaire de cet élément qui, par sa toxicité même, paraissait incompatible avec la vie et se localise surtout dans la glande thyroïde. De tous côtés donc surgissent, en médecine, des faits inattendus et des idées nouvelles. Les progrès accomplis depuis vingt ans autorisent des espérances, pour ainsi dire, illimitées.

REMARQUES FINALES.

Ce rapport, par sa nature même, ne pouvait donner que quelques idées très générales sur le développement actuel des sciences mathématiques, physiques et biologiques. En retraçant l'histoire des travaux récents, je me suis efforcé d'indiquer les divers points de vue sous lesquels on peut envisager aujourd'hui la notion d'explication scientifique, et j'ai insisté sur l'importance capitale des immenses constructions que bâtit l'esprit humain sous le nom de théories, constructions qui constituent véritablement la science, et sans lesquelles il n'y a que des catalogues de faits. Mais j'ai, en même temps, montré leur vanité en ce sens que les images par lesquelles nous cherchons à nous représenter les phénomènes du monde extérieur ne doivent jamais être regardées comme ayant un caractère définitif, aucune expérience ne pouvant établir la vérité d'une hypothèse prise isolément, et que, de plus, elles ne sont pas nécessairement uniques, ce qui peut permettre à plusieurs théories de se développer simultanément. On verra peut-être dans ces pensées un peu de scepticisme. Loin de là, elles sont au contraire essentiellement fécondes et caractéristiques du véritable esprit scientifique, qui ne s'enferme pas dans une formule définitive et ne doit jamais prendre des allures dogmatiques. Ce que l'expérience nous apprend, c'est qu'il existe des relations entre toutes les choses que nous percevons, et la science se propose de connaître les rapports qui constituent l'état actuel du monde.

Il ne nous reste qu'à présenter quelques observations, en quelque sorte, d'ordre pratique. Nous avons signalé, presque à chaque page, le mutuel appui que se prêtent les diverses parties de la science. Des théories jusqu'ici isolées dans les sciences mathématiques se synthétisent dans de grandes disciplines dont la formation donne aux recherches des géomètres contemporains un vigoureux essor. La distinction entre la physique et la chimie devient chaque jour moins bien déterminée, et on parle couramment de chimie physique. Nous avons insisté en dernier lieu sur l'étroite union des études biologiques avec les recher-

IMPRIMERIE NATIONALE.

ches les plus délicates de la chimie moderne. On est effrayé, en songeant à la somme des connaissances que devra, dans un avenir prochain, posséder le savant qui voudra mener à bonne fin une recherche scientifique; outre les connaissances générales à acquérir, les questions de technique seules, dans certaines parties des sciences expérimentales, demandent de longues années. Il semble que dorénavant, dans la vie scientifique comme dans la vie sociale, l'association s'imposera de plus en plus. Tel travail ne pourra être effectué que par la collaboration d'un géomètre et d'un physicien, et tel autre demandera le concours d'un chimiste et d'un physiologiste. Sans doute, les hommes de génie qui orientent la science dans des voies entièrement nouvelles resteront toujours des chercheurs solitaires, mais ce sont là des cas exceptionnels. D'une manière générale, dans l'état actuel des connaissances humaines, l'avenir est à la recherche collective et au groupement d'efforts judicieusement rassemblés, qui risqueraient autrement de rester stériles.

Dans un ordre d'idées analogue, quoique un peu différent, nous avons vu se former récemment des entreprises collectives, comme la carte photographique du ciel, et l'Association géodésique discute toutes les questions se rapportant à la forme du globe terrestre. Enfin, avec plus d'ampleur et un but moins étroitement limité, la première session internationale des Académies vient de se réunir à Paris, il y a quelques semaines; c'est là une date qui marquera dans l'histoire de la science.

Émile PICARD.

QUATRIÈME PARTIE

INDUSTRIE

PAR

M. MICHEL LÉVY

MEMBRE DE L'INSTITUT

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

PRÉFACE.

Les diverses définitions attribuées au mot *industrie* sont instructives et permettent de préciser son origine et son domaine : c'est une sorte d'habileté à exécuter un travail manuel; c'est encore l'esprit d'invention; ce sont toutes les opérations qui concourent à la production des richesses, soit en provoquant l'action créatrice de la nature, soit en recueillant précieusement ses produits, soit enfin en les transformant par la main-d'œuvre[1].

Prise dans son acception la plus générale, l'industrie est donc née des besoins matériels de l'homme et destinée à les satisfaire, en mettant en œuvre la moindre somme d'efforts possible.

Quand on se transporte, par la pensée, au milieu des palais disparus qui ont servi de cadres magnifiques aux Expositions de 1867, de 1878, de 1889 et de 1900, le souvenir des merveilles créées par le génie de l'homme évoque tout à la fois un sentiment d'admiration pour l'extraordinaire ingéniosité dont il est capable, et un retour mélancolique sur la disparition trop rapide de ces preuves accumulées et tangibles du progrès. C'est donc cette notion de progrès que les Expositions mettent en pleine lumière, avec un tel relief qu'elle défie les contradictions : on n'a jamais osé parler de la faillite du progrès industriel, et cette constatation doit nous mettre en garde contre les tendances pessimistes et rétrogrades qui, à d'autres points de vue, semblent avoir caractérisé la fin du XIXe siècle.

[1] Littré, *Dictionnaire de la langue française.*

Le progrès matériel est en voie de réaliser une plus grande somme de bien-être, au prix d'un effort physique moindre et, partant, de laisser à l'esprit humain plus de temps disponible pour la pensée et pour le travail intellectuel. Or l'expérience séculaire démontre que ce sont là les grands facteurs du progrès moral de l'humanité. La faim est mauvaise conseillère; l'habitude de la pensée, tendue vers le beau et le bon, exige quelques loisirs et un bien-être relatif.

Dans le même ordre d'idées, on remarquera que les facteurs du progrès matériel tendent à subir une modification conforme à cette évolution : tantôt il se produit, en effet, par une secousse brusque que lui imprime une invention géniale; telle la machine à vapeur moderne, sortie presque tout d'une pièce du génie d'un Watt; telles encore les découvertes d'un Chevreul dans le domaine de la chimie des corps gras. Tantôt le progrès, si rapide qu'il soit, est le résultat d'une série continue de poussées si nombreuses que le nom d'un seul inventeur ne peut plus caractériser son évolution. Tel est le cas actuel pour les industries mécaniques, électriques et chimiques et, sauf exception, cette sorte de collaboration involontaire sera vraisemblablement, à l'avenir, la règle générale. Un si grand nombre de chercheurs sont désormais en état de penser et de prévoir, que les inventions capitales sont pour ainsi dire dans l'air ambiant, avant même d'avoir été réalisées; elles dérivent d'une série d'efforts parallèles dont la succession est quelquefois difficile à préciser.

Ainsi, à l'origine de ce progrès immense dont l'Exposition de 1900 a fourni la preuve palpable dans un cadre qui, lui-même, laissera des souvenirs durables à tous nos contemporains, nous trouvons l'ingéniosité de l'esprit humain appliqué à satisfaire nos besoins matériels. Dès les temps préhistoriques, cette ingéniosité est à l'œuvre et, si les manifestations grandioses

auxquelles elle a abouti semblent hors de proportion avec les débuts sauvages de l'humanité primitive, cette disparité est plutôt apparente que réelle.

De même que l'enfant développe une mémoire prodigieuse, pour apprendre à parler sa langue natale, et se livre à un effort de généralisation étonnant, en commençant à comprendre et à utiliser certains mots de cette langue, de même l'homme primitif a accompli des chefs-d'œuvre d'ingéniosité, comparables aux plus merveilleuses inventions modernes, en apprenant à se servir du feu, à tailler et ensuite à polir les pierres dures et tenaces, à faire des aiguilles avec les ossements des animaux, à domestiquer quelques-uns d'entre eux.

Plus tard vient l'utilisation de métaux complexes; l'âge du bronze suppose connue l'extraction de l'étain et du cuivre de leurs minerais les plus communs; sans doute, ce sont là précisément les métaux les plus faciles à extraire de leur gangue; mais que d'efforts pour ces métallurgistes primitifs et ne leur devons-nous pas une admiration tout aussi profonde qu'aux Bessemer et aux Siemens. Entre temps, l'homme préhistorique apprend à malaxer, à sécher et à cuire l'argile plastique; l'art du potier est inventé et ses produits portent bientôt la trace d'ornements peints et modelés. On connaît les dessins, extraordinairement curieux par le réalisme et la fidélité du rendu, que portent les manches en corne et en ivoire des outils de l'âge de pierre, et aussi les parois de certaines grottes.

Ainsi l'effort industriel des hommes primitifs est, dès l'origine, accompagné d'un réel besoin de généralisation et d'une aspiration esthétique inattendue.

« Tous, ils ont mis la main aux arts : l'un inventa la meule, « l'autre la roue. Ils se sont tous ingéniés et l'effort continu de « tant d'esprits à travers les âges a produit les merveilles qui main-

« tenant embellissent la vie. Et chaque fois qu'ils inventaient un « art ou fondaient une industrie, ils faisaient naître par cela même « des beautés morales et créaient des vertus[1]. »

On est fondé à penser que les sciences sont nées de cette tendance de l'esprit humain vers les idées générales, tandis que ses aspirations esthétiques se sont frayé un chemin vers tous les genres d'idéal. Il ne serait donc pas exact de dire que l'industrie dérive de la science; l'inverse est plutôt vrai.

Il est intéressant de constater que les industries d'art, c'est-à-dire celles qui ont utilisé et développé les tendances esthétiques de l'esprit humain, ont atteint leur complet épanouissement bien avant les industries d'ordre scientifique. La floraison de l'art grec, les merveilleuses productions de la Renaissance, pour ne pas remonter à un passé plus lointain encore, confirment d'une façon éclatante cette constatation et donnent raison jusqu'à un certain point à l'aphorisme latin : *laudator temporis acti.*

Au contraire, c'est seulement au cours du siècle qui vient de finir, que la science a centuplé les moyens dont l'homme dispose pour dompter et asservir les forces naturelles.

« C'est de la Mécanique céleste que Newton et ses successeurs « du XVIIIe siècle ont tiré la Mécanique générale. Ce n'est qu'au « cours de notre siècle qu'a pu se constituer la Mécanique industrielle, celle que nous appliquons chaque jour . . .

« Il semble que la science, comme les anciens prophètes, ait « eu besoin de passer des siècles dans la contemplation du ciel, « loin des hommes, avant de pouvoir leur apporter la vérité[2]. »

Le plein développement des machines à feu a pour origine nécessaire les théories géniales d'un Sadi Carnot (1824). La naissance des industries électriques coïncide avec les premières syn-

[1] Anatole France, *Le livre de mon ami,* p. 109 à 111. — [2] Maurice Lévy, séance publique annuelle de l'Académie des sciences, 17 décembre 1900, *passim.*

thèses de Maxwell, réunissant, dans une même vue d'ensemble, les origines de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme, des réactions chimiques.

Mais ces efforts admirables seraient encore confinés dans les régions théoriques si, grâce aux méthodes fécondes inaugurées par Sadi Carnot, on n'avait pu, par approximations successives, appliquer les lois générales de la Mécanique à des modes encore inconnus d'énergie.

« C'est cette simplicité dans les méthodes et les résultats qui a « fait que, soudain, à notre époque, la science a pu descendre du « ciel newtonien sur la terre... C'est vraiment dans l'œuvre de « Sadi Carnot qu'on trouve l'origine de tout cela[1]. »

Il est donc juste de faire ressortir l'union de plus en plus intime et féconde de ces deux sortes de manifestations de l'activité humaine, la science et l'industrie; c'est cette union qui engendre les merveilleuses inventions aux applications pratiques desquelles nous assistons, avec une sorte d'impassibilité dont la moindre réflexion suffit pour nous faire sortir; alors un profond sentiment d'admiration nous envahit, jusqu'à l'apparition d'une nouvelle découverte, d'un nouveau genre de sorcellerie, qui détourne l'attention à son profit.

Et nous allons ainsi des chemins de fer aux cycles et aux automobiles, de la télégraphie avec fils au téléphone et à la télégraphie sans fil, des rayons X aux corps radiants, du phonographe à l'enregistrement magnétique des sons, de la photographie ordinaire à celle des couleurs; et, dans un ordre d'idées plus technique, des courants continus aux courants polyphasés, de la machine à vapeur à la machine à gaz, des fours Bessemer et Siemens au four Moissan, du gaz d'éclairage à la lumière élec-

[1] Maurice Lévy, *loc. cit.*

trique, aux manchons à incandescence et à l'acétylène, etc. L'énumération même sommaire des principales découvertes récentes nous entraînerait trop loin; le lecteur de ce recueil en trouvera plus loin la mention méthodique.

Dans son rapport général sur l'Exposition de 1889, M. Picard a magistralement développé l'historique de chaque branche d'industrie, préludant ainsi à l'une des plus intéressantes innovations de 1900, nous voulons parler des expositions centennales annexées à la plupart des classes.

Nous nous bornerons donc à présenter ici le tableau des progrès accomplis depuis 1889 et, tout en cherchant à bien déterminer le chemin parcouru durant la dernière période décennale, nous nous efforcerons de caractériser la tendance actuelle de chaque industrie et la rapidité des modifications qu'elle subit; c'est ainsi qu'en mécanique, lorsqu'on connaît le chemin suivi par un mobile, on peut à chaque instant déterminer la direction qu'il prend et la vitesse dont il est animé. On peut même aller plus loin et, sans être taxé de trop de hardiesse, chercher si cette vitesse est en voie de croissance ou de décroissance. Si donc il est impossible de prévoir, en pareille matière, un avenir trop lointain, on peut cependant dégager quelques-uns des facteurs des modifications prochaines.

Dans cet ordre d'idées et avant de chercher à analyser les détails afférents à chaque classe, nous résumerons en quelques mots les faits les plus saillants, propres à caractériser l'Exposition de 1900, et c'est naturellement dans les industries en voie de modification rapide qu'il conviendra de les chercher.

En **mécanique**, l'extension croissante des machines à explosion, ou plus généralement à combustion, est un fait acquis et digne de la plus sérieuse attention; le poids extraordinairement

réduit de certaines de ces machines explique les succès de l'automobilisme et les récentes tentatives de direction des ballons; mais on assiste en outre à des essais de machines de ce genre à consommation très réduite et à grande puissance, qui permettront la meilleure utilisation des gaz des hauts fourneaux et des fours à coke, des benzols et des huiles de schistes, bientôt peut-être des alcools industriels, et plus généralement de tous les genres de combustibles.

Il est naturel que l'augmentation de pression des gaz et vapeurs employés dans l'industrie soit intimement liée aux progrès de la métallurgie. Les machines à vapeur montent à des timbres de 25 kilogrammes par centimètre carré; l'air comprimé est accumulé à 80 kilogrammes; les gaz liquéfiés sont couramment utilisés dans des récipients susceptibles de résister à des pressions supérieures à 200 kilogrammes; les canons lancent leurs projectiles à des vitesses trois fois supérieures à celle du son, ce qui suppose des press ons initiales formidables.

En **électricité**, les courants polyphasés provoquent une véritable révolution dans le transport de la force et de la lumière à distance; quelques données numériques permettront d'en mesurer la portée. Un courant polyphasé à 5.000 volts permet le transport facile et économique de la force et de la lumière dans un rayon de 15 kilomètres, Or, on utilise de pareils courants à des tensions de plus de 20.000 volts et à plus de 100 kilomètres de distance. La science a armé les nouveaux courants de tous les engins de détail nécessaires : l'isolement des conducteurs, les précautions pour manier les interrupteurs et rendre les courts circuits inoffensifs, la transformation simple et économique des courants à haute tension en courants maniables et sans danger, le démarrage relativement facile des moteurs, tous ces problèmes ont été ré-

solus, à peine étaient-ils posés. En même temps, grâce au perfectionnement des balais et à d'ingénieux agencements, les dynamos à courant continu arrivent à lutter avec les alternateurs pour la transmission de l'énergie à grande distance. Ici la vitesse d'évolution du progrès est peut-être à son maximum et nous devons nous attendre à de nouvelles surprises et à un essor extraordinaire des industries électriques. Aussi assiste-t-on à des efforts intéressants pour l'utilisation et l'aménagement des chutes d'eau en pays de montagne et le long des grands fleuves. En France, on compte actuellement environ 250.000 chevaux ainsi utilisés, représentant à peu près un vingtième de la force disponible. On est fondé à espérer que cette utilisation combattra, tôt ou tard, efficacement la cherté croissante du combustible minéral, dont nos descendants auront à se préoccuper plus encore que nous-mêmes.

En **chimie industrielle**, le progrès est, lui aussi, patent et rapide. L'électro-chimie tient la tête avec l'électrolyse, le four et l'effluve électriques; le carbure de calcium générateur d'acétylène, l'aluminium qui naguère, en 1864, coûtait 90 francs le kilogramme et qui est en passe de descendre au-dessous de 3 francs, le chlorate de potasse, la soude, le chlore liquide, l'ozone et l'hydrogène produits abondamment et industriellement, tels sont les premiers résultats d'efforts encore très récents.

La production de l'acide sulfurique subit en ce moment une transformation, sinon nouvelle au point de vue théorique, du moins féconde en résultats pratiques et qui amène, notamment en Allemagne, la disparition rapide des chambres de plomb. Le procédé nouveau, basé sur l'union directe de l'anhydride sulfureux avec l'oxygène, en présence de fibres d'amiante garnies de mousse de platine, produit de l'anhydride sulfurique et donne l'acide concentré à des prix inespérés.

La synthèse des composés organiques et notamment des carbures d'hydrogène a continué ses conquêtes éclatantes : couleurs, parfums, produits thérapeutiques, elle multiplie ses créations, guidée et pour ainsi dire prévue par une nouvelle branche de la science, la thermo-chimie, fondée par notre illustre compatriote Berthelot.

En **métallurgie,** les dix dernières années n'ont vu éclore aucune méthode révolutionnant l'industrie, si toutefois on met à part certaines applications du four électrique et l'aluminothermie qui dérive de la production économique de l'aluminium. Mais l'expansion et le perfectionnement des fours et cornues à grande production d'acier n'ont porté tous leurs fruits que durant la dernière décade ; les aciers se substituent définitivement au fer et commencent à remplacer même la fonte, depuis que, grâce aux théories de Grüner et aux applications pratiques du procédé Thomas et Gilchrist, l'acier, dit *basique,* obtenu au moyen des minerais usuels plus ou moins phosphoreux, peut lutter avec les aciers provenant des minerais les plus purs.

En même temps, l'utilisation de méthodes scientifiques pour produire à volonté les états allotropiques du métal et juger de ses qualités, l'emploi de métaux plus rares tels que le nickel, le chrome, le tungstène, l'aluminium, le manganèse, comme modificateurs, le forgeage à la presse hydraulique et surtout la puissance toujours croissante de tous les engins de travail mécanique tendent à donner sa pleine perfection à la fabrication des diverses sortes d'acier. On peut dire désormais que l'âge du fer a cessé d'être et a fait place à l'âge de l'acier.

Du reste, dans cette revision rapide de toutes les branches de l'activité humaine, même pour les industries qui n'ont pas renouvelé leurs procédés depuis 1889, nous devons constater le pro-

grès rapide vers la machinerie automatique et de proportions de plus en plus gigantesques, la tendance à la production intensive, avec une main-d'œuvre de plus en plus réduite.

La puissance des locomotives de **chemins de fer** progresse d'une façon ininterrompue et l'Exposition nous en présente une de 1.700 chevaux, destinée à remorquer un train de 200 tonnes à une vitesse de 120 kilomètres en palier.

Les **papeteries** modernes exposent des machines à pâte de bois, susceptibles de produire 20 tonnes de papier par vingt-quatre heures; en 1867, on s'enorgueillissait, dans les mêmes usines, de posséder des machines capables de produire une tonne. Les celluloses de bois, mécaniques et surtout chimiques, tendent de plus en plus à se substituer aux autres matières premières; actuellement, la consommation du monde civilisé est estimée à 900.000 tonnes de papier par an, dont la moitié sert à l'impression et le sixième à l'écriture.

De pareils chiffres donnent une notion nette de l'importance croissante de tout ce qui a trait à l'art de **l'impression**; les presses à grande production, les machines à composer et même à clicher automatiquement, dans le genre des claviers de machines à écrire, montrent, à divers points de vue, l'effort souvent heureux des inventeurs. La reproduction des clichés photographiques par voie d'impression a fait des progrès décisifs, en même temps que la vulgarisation des procédés instantanés prêtait aux négatifs une vie et un attrait imprévus. Désormais, les reproductions en photogravure, intercalées au milieu même du texte typographique, atteignent toute la perfection désirable : paysages d'après nature, reproduction de dessins originaux, scènes animées, champs de bataille eux-mêmes, défilent sous nos yeux, leur apportant l'impression vraie, sans que l'art paraisse en pâtir.

En **filature**, même tendance au mécanisme se substituant de plus en plus à la main-d'œuvre virile et assurant la grande production. Les continus à anneaux supplantent progressivement les self-acting à va-et-vient mécanique, de même que ceux-ci refoulent de plus en plus la mull-jenny à la main, qui ne sert plus que pour les fils les plus fins et les moins tordus. Diverses inventions nouvelles, mises en évidence par l'Exposition de 1900, tendent à démontrer que le problème approche de sa solution définitive. L'huilage continu et la substitution du frottement de roulement à celui de glissement dans le montage des broches ou des appareils destinés à tourner à grande vitesse; l'étude patiente de légers curseurs conduisant le fil et tenus par lui au contact de la bobine qui doit les entraîner, enfin la rotation de la broche remplacée par celle de l'anneau qui entraîne une broche centrale folle, la tension du fil étant assurée par un frein délicat à puissance variable; tels sont les progrès notables dont nous avons à enregistrer les manifestations très récentes; il faut y joindre le progrès, d'ordre plus général, qui consiste à substituer aux anciennes transmissions la commande de chaque machine-outil par un ou plusieurs moteurs électriques, quand l'augmentation de dépense mécanique n'est pas supérieure aux grands avantages de maniabilité et de facile régulation que l'on retire du nouveau mode de transmission. Sans doute, une partie de ces inventions n'a pas encore subi la sanction des essais pratiques prolongés. Mais il nous paraît évident qu'elles présagent le triomphe définitif des métiers continus à grande production, à emplacement restreint, à main-d'œuvre moins laborieuse, à produits nécessairement résistants.

La soie artificielle est en progrès lents, mais continus, depuis 1889; ses produits très brillants et assez résistants ne sont plus inflammables d'une façon dangereuse.

Le **tissage** en tous genres devient de plus en plus automatique; les États-Unis, qui sont les grands innovateurs en matière de machines-outils, nous ont précédés dans l'utilisation des métiers Northrop; certains appareils, notamment les métiers à dentelles, dits *leavers*, prennent des proportions gigantesques et atteignent des poids de 10 à 12 tonnes.

En **verrerie**, l'emploi généralisé des fours à bassins, contenant jusqu'à 400 tonnes de produits fondus, a déterminé une surproduction dont date la crise de 1896.

La **glacerie** se présente avec des produits de taille colossale et de prix réduits. Les tables de coulée ont été mécaniquement perfectionnées; elles se déplacent facilement pour être alimentées par les diverses bouches des fours à rechauffer; elles sont disposées de façon à se dilater sans donner une flèche à la coulée; enfin, le polissage mécanique n'exige plus que deux scellements.

La **céramique** bénéficie des progrès accomplis dans la construction des fours industriels et se plie lentement aux nouvelles méthodes qui permettent de simplifier l'élaboration des matières premières et de déterminer les dilatations de la couverte.

Une des manifestations les plus éclatantes des progrès de l'industrie et, aussi, des besoins nouveaux qu'ils développent, a consisté dans la distribution de l'**éclairage** à l'Exposition. Il n'est pas douteux que nos yeux ne s'accommodent plus d'une somme de lumière qui aurait paru plus que suffisante, il y a dix ans; il leur faut une intensité moyenne comparable à celle du grand jour ou même du soleil, pour provoquer leur complète satisfaction. Indépendamment des divers modes de lumière élec-

trique, l'Exposition a fait large place aux procédés d'incandescence et d'utilisation de l'acétylène. Les problèmes connexes à ces procédés commencent à peine à être traités méthodiquement et analysés scientifiquement; nous sommes appelés à une rénovation prochaine des lampes électriques à incandescence; quant aux manchons utilisant des becs Bunsen, ils s'appliquent non seulement au gaz d'éclairage, mais dès à présent à l'alcool plus ou moins carburé et même aux pétroles lampants.

L'art des **mines** a, lui aussi, profité dans une large mesure des progrès du mécanisme. Il est désormais tributaire de tous les moyens de transport pratique de l'énergie : eau et air comprimés, courants électriques continus et triphasés pénètrent à l'envi dans les exploitations souterraines. Les mines de houille à grisou sont particulièrement délicates à traiter à ce point de vue; les outils des fronts d'attaque n'y sont guère actionnés que par l'eau et l'air comprimés; ce sont eux qui font mouvoir les fleurets, les perforatrices et les haveuses dont l'usage se généralise partout.

L'emploi des courants triphasés dont les réceptrices, sans balais, présentent moins de dangers d'étincelles que les dynamos, se développe également d'une façon continue; déjà les alternomoteurs apparaissent dans les puits et les galeries d'entrée d'air, actionnant des pompes, des compresseurs, des ventilateurs, des treuils de plans inclinés, et donnant en outre la vie à tous les outils de préparation mécanique, au jour.

La lutte contre le grisou a provoqué et provoque journellement encore, dans le monde entier, les efforts les plus louables; grâce à notre Commission française du grisou, les mineurs possèdent désormais des détonants *froids*, capables de produire les dislocations mécaniques désirables, sans provoquer l'inflammation des

IMPRIMERIE NATIONALE.

mélanges grisouteux. La question de l'éclairage est moins avancée; non pas que la lampe de Davy n'ait été notablement perfectionnée : son intensité lumineuse est plus que doublée; il est désormais loisible de la rallumer sans l'ouvrir; les fermetures et l'isolement de la flamme sont généralement efficaces. Mais, en somme, la lumière ainsi obtenue est encore très insuffisante.

Les procédés du **Génie civil** et des **travaux publics** ont profité des progrès de la métallurgie de l'acier et commencent à utiliser en grand le ciment armé, qui participe à la fois des avantages des métaux et de la pierre. Ici encore, l'Exposition de 1900 a servi de champ d'application et son étude détaillée a déjà fourni de précieuses indications à la pratique; citons seulement l'emploi des voussoirs en acier moulé du pont Alexandre III, à la fois d'une robustesse et d'une légèreté incomparables, et l'utilisation sur une vaste échelle des poutres en ciment armé, supportant notamment la plupart des palais étrangers.

L'industrie des transports fait usage de rails de plus en plus longs et lourds; leur éclissage est parfois remplacé par diverses soudures et les voies ont acquis la continuité et la solidité, qui permettent sans danger l'emploi des vitesses croissantes, auxquelles il convient de plier désormais le matériel roulant lui aussi, en généralisant l'emploi des bogies, des suspensions élastiques perfectionnées, et en réalisant à la fois le minimum de poids et le maximum de stabilité. Au reste, là encore l'usage de l'acier se généralise et s'applique aux pièces de choc elles-mêmes.

Les phares ont utilisé dans la plus large mesure les progrès de la lumière, de l'optique et de la mécanique. Arcs électriques, manchons incandescents au pétrole, lentilles perfectionnées à éclipses rapides, suspension de la partie mobile sur des bains de mercure supprimant tout frottement; les appareils exposés

faisaient honneur à nos ingénieurs et à notre industrie qui en a conservé à peu près entièrement le monopole.

La **navigation** a continué son évolution vers les tonnages gigantesques et les machines formidables. Ici le progrès est nettement accentué et lié encore à celui de la métallurgie. Les chaudières multitubulaires avec leurs engins de sûreté perfectionnés, portes se fermant automatiquement, trappes d'échappement de la vapeur en cas de rupture d'un tube; les machines à multiple expansion; la réduction générale du volume des appareils moteurs, corrélative de l'augmentation de moins en moins dangereuse de la pression maximum et de la détente; tels sont, avec évidence, les chemins définitifs dans lesquels s'engagent la marine marchande ainsi que la marine de guerre.

A celle-ci revient en outre le bénéfice de la diminution de poids de ses blindages protecteurs, à égalité de résistance. Il est dû à des procédés ingénieux de trempe superficielle et surtout à l'emploi des nouveaux aciers modifiés, par l'addition de métaux rares.

L'emploi des canons de taille gigantesque et de leurs tourelles protectrices est tributaire et bénéficiaire de tous les perfectionnements de la mécanique moderne; ici encore, comme dans les mines, tous les modes de servo-moteurs sont appliqués, air et eau comprimés, courants électriques, suspensions équilibrées, coordonnées analogues à celles des instruments astronomiques. C'est la précision des machines-outils les plus perfectionnées, appliquée aux engins les plus violents et les plus monstrueux que l'on puisse imaginer.

Parmi les torpilleurs, les plus rapides utilisent actuellement les générateurs à petits tubes d'eau contournés, actionnant des turbines à vapeur de grande puissance.

Les sous-marins semblent devoir être en partie tributaires des

mêmes engins que les automobiles : machines à essence, accumulateurs électriques, gaz comprimés ou même liquéfiés.

Enfin la télégraphie sans fil a commencé à relier les navires à la terre ferme, à plus de 1.000 kilomètres de distance; peut-être permettra-t-elle l'intercommunication pratique entre navires et rendra-t-elle plus rares les terribles collisions en pleine mer.

Il y a toujours une sorte d'ironie à parler des progrès du matériel de **guerre**, quand on passe en revue ceux de l'industrie humaine; l'un est cependant corrélatif de l'autre; il y a même lieu d'espérer que bientôt l'art de la destruction sera poussé à une telle perfection qu'il rendra moralement impossible toute guerre, en la faisant équivalente au suicide des deux adversaires.

Le canon est devenu à tir rapide, c'est-à-dire que son recul est annihilé par l'ancrage de la crosse de l'affût, et l'emploi de freins perfectionnés ramenant automatiquement la pièce en batterie. L'automatisme du canon finira par égaler celui de certaines mitrailleuses à jet continu de projectiles, utilisant la force du recul pour charger, armer de nouveau et faire partir le coup.

En même temps, l'emploi de douilles métalliques perfectionnées supprime la difficulté des fermetures étanches du chargement par la culasse. L'utilisation des poudres sans fumée à inflammation progressive dans l'âme de la pièce, des poudres brisantes dans les projectiles, des fusées à temps précis et des chargements méthodiques dans les obus à balles, a fait des progrès rapides dans les dix dernières années.

L'automobilisme, sous ses formes légères, sera certainement utilisé dans les guerres futures; son emploi dans les transports diminuera la longueur des convois, augmentera la rapidité des communications, empêchera la destruction des routes; on l'a déjà

employé au transport et au fonctionnement des projecteurs électriques, des treuils des ballons, etc.

Le matériel de campement et de cuisine a déjà largement bénéficié des prix réduits et de l'extrême légèreté des instruments en aluminium; la fabrication perfectionnée et désormais automatique de bonnes boîtes de conserve, et plus généralement des ustensiles emboutis et de leurs soudures, facilitera les approvisionnements.

L'**hygiène** touche, par plusieurs des procédés qu'elle préconise, aux industries mécaniques et chimiques. L'emploi des étuves à vapeur perfectionnées et des désinfectants chimiques rentre avec évidence dans cette catégorie. Mais on peut dire, d'une façon plus générale, que l'habitation moderne est tributaire, au point de vue hygiénique, d'un grand nombre de problèmes industriels d'une solution fort délicate. L'adduction d'une eau pure, l'élimination des matières usées, les procédés de chauffage ont une influence prédominante sur notre santé et sur le développement physique de nos enfants.

L'eau est certainement le véhicule de quelques-unes des plus terribles maladies microbiennes qui ravagent l'humanité; l'origine hydrique de la fièvre typhoïde, du choléra, de la dysenterie ne fait plus aucun doute. On a cherché un remède à la pollution des eaux potables dans le captage soigné des sources naturelles, et l'on a déjà réalisé ainsi une amélioration notable sur l'état antérieur durant lequel les eaux de rivière et de puits constituaient la principale ressource. Mais il a fallu reconnaître que le plus grand nombre des sources naturelles, notamment celles des terrains calcaires, sont contaminables à grande distance de leur émergence, et l'attention est de nouveau appelée sur les moyens artificiels et, pour ainsi dire, industriels de purification. A ce

point de vue, les divers modes perfectionnés de filtration, les appareils à ébullition, l'emploi du peroxyde de chlore, de l'ozone, du permanganate de chaux, etc., méritent toute la sollicitude des hygiénistes et des ingénieurs.

Dans le même ordre d'idées, l'écoulement des eaux usées et le placement des déchets des grandes agglomérations humaines soulèvent les problèmes les plus difficiles et souvent les plus dispendieux. Ici encore on n'a le choix qu'entre les procédés chimiques et l'épandage, c'est-à-dire la purification des eaux et des déchets par les voies naturelles, par l'oxydation qui accompagne l'incorporation et l'imbibition dans un sol favorable.

Le chauffage des habitations a, lui aussi, de redoutables écueils à éviter; l'air ambiant, et même celui de nos rues, ne doit à aucun prix être souillé par l'oxyde de carbone; on sait qu'il constitue un subtil poison du sang, à des doses tellement minimes qu'elles échappent aux procédés ordinaires d'analyse. Or, ce sont précisément les appareils les plus économiques, les poêles à feu continu par exemple, qui le produisent en plus grande quantité; il suffit d'un trouble passager dans le tirage très réduit et délicat de ces appareils pour en faire des engins meurtriers. Le progrès est ici nettement caractérisé; depuis dix ans, l'emploi de la vapeur à basse pression s'est substitué progressivement aux autres procédés perfectionnés et tend à les remplacer définitivement, en attendant que la production tout à fait économique des courants électriques attribue la suprématie aux divers modes d'incandescence.

Les appareils et procédés fumivores sont, eux aussi, en progrès lent mais constant; il faut distinguer ceux qui, par une combustion plus parfaite des gaz des foyers, favorisent à la fois la disparition de la fumée et la diminution de l'oxyde de carbone répandu dans l'atmosphère. Parmi les progrès industriels entraî-

nant à leur suite certains dangers que les hygiénistes doivent prévoir et combattre, nous devons signaler la multiplication des gazogènes destinés à alimenter les fours perfectionnés de l'industrie moderne ou les machines à gaz tonnant. Ces gazogènes sont presque tous des producteurs intensifs d'oxyde de carbone; les moindres fuites de leurs enveloppes ou de leurs canalisations pourront être pour le voisinage une source de danger d'autant plus pernicieux que l'oxyde de carbone n'est doué d'aucune odeur et se montre toxique à très petite dose. Dans ces appareils, il sera donc nécessaire de distinguer entre ceux dans lesquels, par une intelligente application des ventilateurs, on établit d'une façon permanente une dépression de quelques millimètres d'eau, qui rend les fuites inoffensives, et ceux qui n'ont pas prévu ce perfectionnement essentiellement hygiénique.

Nous avons rapidement parcouru les principaux domaines de l'industrie, tels que l'Exposition de 1900 nous les a montrés; mais la plus éclatante manifestation du progrès industriel a été sans contredit l'Exposition elle-même avec ses puissants générateurs d'énergie, son admirable distribution de force et de lumière, ses moyens de transport originaux, les nouveaux procédés de construction qu'elle a mis en pratique et vulgarisés. A tous les points de vue, aucun chapitre de l'histoire industrielle du siècle qui vient de finir ne sera plus instructif que l'étude détaillée, depuis sa naissance jusqu'à son plein épanouissement, de cette vaste et incomparable usine dont les façades ont servi de parure à l'avenue Alexandre III, aux quais des nations étrangères, au palais de l'Électricité. Ses sous-sols, ses ateliers ont abrité les chaudières, les machines, les conduites d'eau, de vapeur et d'électricité, les dynamos et les alternateurs représentatifs de plus de trente-six mille chevaux-vapeur, donnant la vie à plus de

677 machines-outils, alimentant avec une profusion de lumière 3.348 lampes à arc et 39.859 lampes incandescentes[1]. Et le plus bel éloge que l'on puisse faire du plan d'ensemble qui a présidé à cette œuvre grandiose, c'est que nulle part l'effort n'était apparent, si grande qu'en fût la somme. C'est d'une façon presque insensible et silencieuse que les nouveaux engins distribuaient partout la vie, la lumière et l'énergie.

Dans ce qui suit, nous avons respecté l'ordre des groupes et des classes, tel qu'il a été établi dans la classification générale, annexée au décret du 4 août 1894. Les lacunes s'expliquent d'elles-mêmes : un grand nombre de classes n'ont pas, en effet, de rapports directs avec l'industrie.

[1] M. R.-V. Picou, Société internationale des électriciens, Bulletin de mars 1901.

1er décembre 1902.

INDUSTRIE.

TROISIÈME GROUPE.

INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DES LETTRES, DES SCIENCES ET DES ARTS.

Classe 11.

TYPOGRAPHIE, IMPRESSIONS DIVERSES.

C'est à M. Lahure que nous devons le rapport sur la Classe 11; le préambule, très laconique, qui précède la description des produits exposés, nous permet cependant d'apprécier sommairement l'état actuel de l'industrie des impressions.

Les *machines à imprimer* vont en se perfectionnant, en augmentant leur vitesse de production et leurs dimensions, sans toutefois présenter des innovations radicales; nos rotatives françaises, moins énormes que les machines américaines et allemandes[1], suffisent largement aux tirages de nos journaux; elles produisent aussi bien et durent plus longtemps que certaines de leurs rivales.

Les constructeurs français fabriquent toujours avec succès la machine à retiration, tandis qu'en Amérique notamment on ne construit plus guère que la machine en blanc; M. Lahure estime que, pour de grands tirages soignés, dans les villes où l'espace manque, la machine à retiration rend encore d'immenses services.

Le rapporteur signale les *machines à composer*, linotypes et autres, universellement adoptées en Amérique pour les journaux et les travaux courants, mais ne pouvant encore aborder les travaux soignés

[1] L'exposition allemande contenait une énorme machine rotative de la *Vereinigte Maschinenfabrik d'Augsbourg*, pour imprimer quatre couleurs d'un côté, deux de l'autre, pouvant fournir 10.000 exemplaires à l'heure.

IMPRIMERIE NATIONALE.

ou à complications; la *Merganthaller Linotype Company* possède actuellement une succursale anglaise à Broadheath, près Manchester; cette usine occupe 3.000 ouvriers et produit 60 machines par mois; M. Lahure estime que 10.000 de ces linotypes fonctionnent en ce moment dont 200 seulement en France. On sait que ces appareils possèdent un clavier de machine à écrire qui range automatiquement les matrices; des dispositions également automatiques les amènent devant le creuset de fusion, puis, après moulage, les renvoient à leurs places primitives. La linotype, très pratique pour les revues, les journaux et les volumes qui ne comportent ni intercalations, ni remaniements, ni innombrables corrections, n'a guère progressé depuis l'Exposition de Chicago; son succès est cependant caractéristique de la dernière décade, et commence l'invasion de la machine-outil perfectionnée dans l'art de la typographie.

Mais l'Exposition de 1900 présentait en germe des perfectionnements de ces admirables machines, qui pourraient bien accélérer cette évolution mécanique : notons en particulier les dispositifs imaginés pour augmenter ou diminuer automatiquement et sans aucun effort d'esprit l'espacement initial des caractères, quand le dactylographe, arrivant vers la fin de sa ligne, est prévenu du blanc ou de l'excédent de lettres auxquels il doit parer. L'*électro-typographe* de M. Rozar présente, à ce point de vue notamment, d'ingénieuses dispositions, basées, comme le *Graphotype* et la *Lanston*, sur l'application de la mécanique Jacquard à la typographie. Le travail se fait sur deux machines distinctes; la première est une machine à écrire dont les touches produisent une série de combinaisons, comprenant huit rangées longitudinales de perforations : il y a une rangée servant à l'entraînement; cinq produisant les combinaisons qui choisiront tout à l'heure les matrices des lettres, des signes et leur module; enfin les deux dernières rangées servent à la justification; le dactylographe en dispose en fin de ligne, au moyen d'une touche unique, qui procure les perforations nécessaires.

La bande perforée est placée sur la seconde machine qui se compose du lecteur de la bande, du chariot porte-matrices et de la machine à fondre. La bande est entraînée par des picots, en sens inverse

de sa confection; les perforations relatives aux justifications sont donc en action avant la ligne à composer; elles amènent en périodicité convenable une matrice sans gravure devant le creuset, pour fondre et intercaler les espaces nécessaires. Quant aux signes, ils sont assurés par trente et une matrices, possédant chacune trois moules dont l'un, l'autre ou le troisième se présentent au creuset par rotation de o°, + ou — 45° de la matrice. Cette rotation, tout comme le choix de la matrice, est déterminée par les combinaisons de trous, à travers lesquels passent des touches, qui déterminent des contacts électriques.

Nous avons insisté sur une des ingénieuses combinaisons dérivées des linotypes, parce que la pratique a déjà sanctionné ces machines pour les travaux courants et qu'il faut nous attendre à les voir se perfectionner, en supplantant définitivement le travail à la main.

D'après M. Lahure, la *photogravure* est la branche d'impression qui a fait les progrès les plus marquants; les clichés pour impressions en noir, en chromos, et notamment les impressions dites *des trois couleurs* se perfectionnent à vue d'œil. Elles ont donné naissance à l'industrie, dès à présent florissante, des cartes postales illustrées. Nous donnons quelques détails sur ces jolis procédés à propos de la Classe 12 (Photographie).

Il nous reste à constater, avec quelque regret, que l'industrie des *machines à écrire*, en pleine prospérité, est à peu près monopolisée par les États-Unis; il s'est greffé sur la dactylographie une série de procédés ingénieux pour multiplier la reproduction d'une page d'impression : nous citerons notamment les procédés par perforation qui s'appliquent aussi à l'écriture manuscrite.

Classe 12.

PHOTOGRAPHIE.

Le rapport de M. Léon Vidal sur la Classe 12 comprend non seulement une revue très complète des nouveautés en photographie, mais encore un exposé détaillé de ses applications à la gravure et à l'impression.

Nous n'avons pas à enregistrer, depuis 1889, une découverte capitale, comme celle qui a substitué les plaques sèches au gélatino-bromure à celles au collodion; mais les nouveaux procédés sont devenus plus sensibles, d'application plus facile et plus régulière, et dès lors leur diffusion dans le grand public a pris un extraordinaire développement, qui est encore loin d'avoir atteint son maximum : la maison Lumière fabriquait, en 1889, 1.000 douzaines de plaques (13×18 en moyenne) par jour; elle en fabrique actuellement huit fois plus. D'après M. Vidal, on arrivera prochainement à quadrupler la sensibilité de ces plaques; on les rend déjà ortho ou panchromatiques, c'est-à-dire également sensibles aux principales couleurs du spectre, et l'on arrive à supprimer le halo dû à la réflexion des rayons lumineux sur la face arrière du verre. On fabrique aussi, sur une grande échelle, des pellicules sensibles, que l'on enroule dans des châssis spéciaux qui peuvent être chargés en pleine lumière; il y a une grande économie de poids sur les plaques, à égalité de surface. Enfin nous noterons les pellicules réversibles, précieuses pour certains genres de gravure.

Il est curieux, en présence de cet énorme succès des négatifs au gélatino-bromure, de rappeler que, pour la finesse du grain, la transparence et la délicatesse des détails, le collodion et notamment les procédés Toupenot à l'albumine sont encore sans rivaux.

Nous ne relevons rien de bien nouveau dans le domaine des révélateurs et des positifs à l'argent, au fer, au platine ou au charbon, et nous avons hâte de constater le merveilleux développement des procédés d'impression photo-mécanique qui sont en voie de supprimer purement et simplement la gravure à la main; il nous paraît que c'est à juste titre que M. Léon Vidal la considère comme n'ayant plus de raison d'être : elle se proposait comme but de rendre aussi fidèlement que possible les modelés d'un dessin original, au moyen de tailles plus ou moins serrées, péniblement gravées sur une plaque de métal; or, il existe actuellement des moyens automatiques qui rendent avec une fidélité surprenante les œuvres déjà créées, et quant aux créations à venir, il semble plus rationnel de recourir à des procédés moins pénibles et moins longs.

La *photoglyptie* est à peu près abandonnée; elle nécessitait une

encre formée de gélatine et d'un pigment et le montage ultérieur des épreuves obtenues, comme les positifs ordinaires, sans marges.

L'action d'un négatif sur une couche mince de bitume de Judée ou de mucilage bichromaté, étendue soit sur une pierre lithographique, soit sur une planche de zinc ou d'aluminium constitue la *photolithographie. L'algraphie* (aluminium) est une branche nouvelle de cet ancien procédé; l'école des Arts graphiques de Vienne en exposait de beaux spécimens.

La *photocollographie* consiste à impressionner une couche de gélatine bichromatée étendue sur des plaques en verre; la lumière la rend impropre à absorber le liquide mouilleur; on obtient ainsi des modelés très fins et très continus qui donnent, à l'encre grasse, de jolies planches hors texte, dont on ne peut multiplier beaucoup le tirage.

Les procédés de *phototypographie*, à relief imprimant, ont débuté par les sujets au trait, obtenus en réservant les surfaces métalliques au moyen de matières sensibles à la lumière, bitume ou mucilage bichromaté; mais les demi-teintes exigeaient plus de précautions, et, dès 1889, la *similigravure* a usé de procédés spéciaux, dont la dernière décade nous réservait le plein épanouissement; ils consistent, en somme, à donner aux modelés une valeur qui devient la somme de celle de traits ou points très rapprochés, formant réseau ou lignes de points; c'est le procédé même du burin rendu automatique. Le réseau, interposé entre le cliché à reproduire et la plaque sensible, contient de 50 à 150 lignes opaques par centimètre carré, sur fond très transparent; les phénomènes de diffraction en atténuent l'effet, proportionnellement à l'intensité des radiations qui les traversent. Ainsi, on transforme le dessin à reproduire en une série de points ou de traits, suffisamment rapprochés pour que l'œil ne perçoive qu'une impression d'ensemble. Le rendu exige un papier plan et lisse; mais, moyennant cette unique sujétion, les clichés peuvent s'intercaler dans le texte typographique et y produire le plus bel effet[1].

[1] Nous citerons, comme exemple probant, les magnifiques reproductions photographiques du bel ouvrage, édité par le Touring-Club : *Sites et monuments* de la France.

La *photogravure en creux*, en taille-douce, dans laquelle les parties creuses reçoivent l'encre, a aussi le pouvoir de rendre fidèlement des demi-teintes; mais elle ne s'applique pas aux impressions dans le texte et elle nécessite un travail délicat, principalement basé sur le grainage à la résine, effectué sur la plaque en œuvre.

Les *impressions photographiques polychromes* ont bénéficié à la fois des progrès des plaques panchromatiques et de ceux de la similigravure; on sait que l'on peut approximativement rendre les principales couleurs par superposition de trois teintes convenablement choisies, par exemple rouge-orange, vert, bleu-violet. On cherche à obtenir les négatifs convenables au moyen de verres colorés; puis on les transforme en négatifs tramés en évitant que les trames se superposent exactement, au moyen d'une rotation convenable du porte-trame. Enfin on imprime en couleurs complémentaires de celles des verres qui ont servi à la confection des négatifs. Généralement il est nécessaire de recourir à quelques retouches et à une ou deux impressions complémentaires. On peut aussi superposer des positifs sur gélatine colorée. Les résultats sont intéressants; ils ne nous paraissent pas encore entièrement satisfaisants et ne peuvent être comparés aux merveilleuses photographies Lippmann dont les couleurs si brillantes, si pures et d'un ton si vrai, sont dues à des phénomènes d'interférence; M. Lippmann avait exposé quelques vues stéréoscopiques vraiment admirables, quoique mal éclairées, et que M. Léon Vidal doit avoir ignorées; il n'est que juste aussi de rappeler que la technique de la préparation des plaques Lippmann a été très simplifiée, durant ces dernières années.

L'emploi généralisé du *cinématographe* nous dispense d'insister sur les prestigieux spectacles auxquels il nous permet d'assister; il y a lieu d'espérer que ses défauts, et notamment le tremblement encore perceptible de ses substitutions, s'atténueront par l'accroissement de sensibilité des négatifs et leur multiplication. On sait que le principe du cinématographe a d'abord été appliqué, par M. Marey, à des recherches d'ordre scientifique.

Parmi les innombrables progrès des appareils et du matériel photographique, M. Léon Vidal cite, à juste titre, les perfectionnements de l'appareil optique : les premiers anastigmats Zeiss datent de 1891;

on sait que leur combinaison repose principalement sur les qualités réfringentes exceptionnelles de certains verres fabriqués à Iéna; nos opticiens furent littéralement pris au dépourvu par l'apparition de ces types si parfaits, à grande ouverture utile; ils ont repris courage et, grâce aux efforts de MM. A. Martin et Wallon, aux nouveaux verres fabriqués notamment par M. Mantois, nous pouvons maintenant lutter avec les opticiens allemands et aussi avec la célèbre marque Goerz.

En résumé, le mouvement de vulgarisation, qui a décuplé en dix ans l'importance de la photographie, est loin d'être arrivé, non pas même à son terme, mais à sa période de régime. Les applications industrielles et artistiques se multiplient et, avec la similigravure, tendent à détrôner l'art de la gravure au burin. Nous assistons, dès à présent, à l'invasion du livre par les nouveaux procédés : les reproductions typographiques sont de plus en plus parfaites et n'excluent nullement le côté artistique, comme pourraient le croire certains esprits chagrins, puisqu'elles reproduisent, avec une fidélité extraordinaire, les dessins au crayon ou à la plume des maîtres les plus difficiles à interpréter.

La photographie des couleurs possède un procédé admirable que peuvent vulgariser les projections ou le stéréoscope; il est encore d'emploi difficile et ne se prête pas aux reproductions des clichés primitifs. Quant à l'impression trichromique, elle commence à trouver sa voie dans l'emploi des plaques panchromatiques et des similigravures à trames entre-croisées. Le cinématographe se vulgarise et se perfectionne, à proportion de l'instantanéité des émulsions et des objectifs. La féconde impulsion donnée par Carl Zeiss à la construction d'objectifs perfectionnés, à grande ouverture, est loin d'avoir produit encore tous ses fruits. Enfin nous entrevoyons de nouveaux perfectionnements dans la production des plaques de plus en plus sensibles et nous pensons que la gélatine au bromure, à grain un peu grossier, à transparence incomplète, pourra faire place à des émulsions plus parfaites et plus fines, de même que le celluloïd a vu naître la viscose et ses produits nouveaux.

Classe 15.

INSTRUMENTS DE PRÉCISION, MONNAIES ET MÉDAILLES.

La Classe 15 qui se rapporte aux instruments de précision, monnaies et médailles, ne contient que quelques spécialités que l'on puisse ranger sans effort dans la catégorie des productions industrielles; tels sont les appareils optiques d'usage courant, comme les jumelles, longues-vues, projecteurs, etc.; tels encore les balances, thermomètres, baromètres, et généralement les enregistreurs.

Avant de résumer très sommairement les découvertes réellement nouvelles qui ont trait à ces instruments à la fois scientifiques et pratiques, il convient de faire ressortir que, dans le mouvement général qui entraîne l'industrie vers un machinisme de plus en plus perfectionné et pour ainsi dire automatique, chaque machine-outil devient un instrument de précision; on lui demande, au point de vue linéaire, une *interchangeabilité* des produits qui tend vers la réduction des erreurs à un micron; au point de vue de la diminution de la main-d'œuvre, la machine est appelée non seulement à changer d'elle-même, au moment voulu, les outils, les profils et les dessins (machines-revolver), mais encore à prévoir les manœuvres nécessaires en cas d'incident, rupture de fils (casse-trame), épuisement des navettes (métier Northrop). C'est la combinaison du cerveau et de la main, du servo-moteur et de ses appareils de déclenchement, et l'ouvrier n'est plus là qu'à titre de surveillant souvent passif. La différence entre les instruments de précision et les machines de l'industrie s'efface donc tous les jours davantage; ils se prêtent d'ailleurs un mutuel appui dans ces grands laboratoires d'essais, que les nations civilisées créent à grands frais et mettent au service de leur industrie. Nous venons, à notre tour, de suivre l'exemple des États-Unis, de l'Allemagne, de la Suisse, de la Belgique et, sur l'initiative intelligente de notre Ministère du commerce, libéralement secondé par la Chambre de commerce de Paris, nous édifions en ce moment, au Conservatoire des Arts et Métiers, un laboratoire ayant la double attache nécessaire, gouvernementale et industrielle, et doté des instruments de précision

les plus indispensables. Ce laboratoire pourra servir efficacement de trait d'union entre les procédés de mesures purement scientifiques et les essais dont notre industrie doit user, sous peine d'être bientôt devancée par ses rivales[1]. Les remarquables mémoires et les discussions, publiés par la grande commission des essais, instituée au Ministère des travaux publics et présidée par M. Picard, ont largement contribué à préciser les éléments indispensables à un pareil laboratoire et à faire ressortir son urgente nécessité.

Les *longues-vues et jumelles* ont bénéficié de l'abaissement du prix de l'aluminium; on connaît la différence qui existe entre la lunette terrestre, dans laquelle l'objectif procure une image réelle qui est amplifiée et redressée par un oculaire assez compliqué et surtout exigeant une certaine longueur, et la lunette de Galilée, légère, courte, très lumineuse, mais utilisant une image virtuelle et de petit champ. Dès 1854, Porro avait imaginé de remplacer les deux lentilles redresseuses de la lunette terrestre par un jeu de prismes à réflexion totale; Nachet avait construit, en 1856, une jumelle très réussie de ce système; puis l'idée était tombée dans l'oubli; elle a été remise en honneur par Zeiss et son éclatant succès constitue la nouveauté de la dernière décade, en matière d'instruments d'optique industriels.

Ce n'est pas que la combinaison Porro ne présente quelques inconvénients; les jumelles ont une forme massive et disgracieuse; le montage des prismes demande une extrême précision et rend l'appareil très cher; leur nettoyage est difficile; on combat ce dernier inconvénient en les enfermant dans une capacité hermétique (Krauss).

Parmi les *appareils à projections*, notons l'héliorama Lafon, très simple et bon marché, qui remplit le même but que l'épidiascope Zeiss, compliqué et coûteux. Le chromo-mégascope (Clément et Gilmer) permet de superposer les trois projections provenant de la photographie à trois couleurs. L'Exposition montre un grand nombre de cinématographes plus ou moins simplifiés; MM. A. et L. Lumière viennent d'imaginer un nouvel et intéressant appareil de projection circulaire qui permet d'utiliser les images panoramiques; c'est le photorama[2].

[1] On trouvera quelques détails concernant les laboratoires d'essais à propos des Classes 21 (Mécanique générale) et 22 (Machines-outils). — [2] *Cosmos* du 8 mars 1902.

QUATRIÈME GROUPE.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE LA MÉCANIQUE.

Classe 19.

MACHINES À VAPEUR.

Toute l'industrie moderne[1] est fondée sur l'emploi de plus en plus généralisé de machines motrices et de machines réceptrices ou machines-outils. Les premières remplacent le travail musculaire des hommes et des animaux domestiques, les secondes arrivent à imiter au moins partiellement l'habileté manuelle des ouvriers les plus exercés : une des caractéristiques du progrès industriel consiste dans l'extension sans cesse croissante de l'automaticité et du machinisme, de telle sorte que les frais de main-d'œuvre puissent diminuer à la fois en quantité et en qualité.

Les machines motrices sont productives d'énergie sous la forme de travail mécanique; on peut les définir, au point de vue de leur puissance, en spécifiant combien de kilogrammes elles sont susceptibles de soulever à un mètre pendant l'unité de temps. Encore convient-il de rappeler ici que le principe de la conservation de l'énergie fait de ces machines de simples transformatrices, susceptibles de traduire en énergie mécanique les énergies thermique, électrique, chimique ou même mécanique qu'on leur fournit, dans certaines conditions favorables à cette transformation ou à cette transmission.

On a souvent fait ressortir que l'unique source d'énergie réellement inépuisable, dont nous disposons, nous vient, sous forme d'énergie thermique, du soleil qui nous dispense aussi la lumière et la vie.

C'est lui qui permet aux plantes, et notamment aux arbres, de réduire l'acide carbonique de l'atmosphère et d'en fixer l'élément carboné

[1] Nous n'avons pas reçu en temps utile les rapports sur les Classes 19 et 20.

sous forme de bois et plus généralement de produits *combustibles* tels, par exemple, que ceux qui donnent l'alcool, susceptibles de se transformer de nouveau, par oxydation, en acide carbonique et en eau.

L'anthracite, la houille et le lignite ne sont que les résidus métamorphiques de la végétation aux époques géologiques. Ils représentent donc l'accumulation séculaire de l'énergie solaire, et la consommation formidable que nous en faisons, depuis moins d'un siècle, n'est pas sans soulever périodiquement les alarmes des économistes; nous mangeons littéralement notre blé en herbe et nos arrière-petits-neveux pourraient bien avoir à pâtir de nos prodigalités actuelles. En tout cas, les centres de la production intensive de combustible minéral sont appelés à se déplacer dans un assez bref délai; M. Ed. Lozé[1], s'appuyant sur des estimations de M. T. Forsher Brown. pense que, vers l'an 1950, l'extraction de la houille britannique aura épuisé ses meilleurs charbons, ceux qui s'exploitent à meilleur compte; l'industrie houillère entrerait dès lors en Angleterre dans une période de stagnation, puis de décroissance.

Fort heureusement, la chaleur solaire se manifeste encore sous une forme d'énergie mécanique, facile à utiliser, et à laquelle les progrès de l'industrie électrique prêtent une valeur de plus en plus précieuse. C'est la chaleur solaire qui évapore l'eau des océans, et l'élève dans l'atmosphère sous forme de nuages. Leur condensation donne naissance aux glaciers et aux cours d'eau. Nous ne pouvons recueillir sous forme de travail mécanique qu'une bien minime partie de cette élévation, puis de cette *chute* plus ou moins ménagée *des eaux* pluviales; mais cette minime partie se chiffre encore par un total vraiment formidable et en tout comparable, en tenant compte de l'équivalent mécanique de la chaleur, aux besoins de houille à prévoir, pour le présent et pour l'avenir. On peut estimer à dix millions de chevaux-vapeur[1] la force disponible par chutes hydrauliques dans les Alpes françaises, le Jura, les Vosges, l'Auvergne et les Pyrénées; l'industrie n'en utilise pas actuellement la vingtième partie, et même les usines déjà créées souffrent en ce moment d'une crise économique passagère;

[1] *Revue générale des questions économiques*, 5 juin 1901, p. 273, t. II, n° 46.

mais il n'est pas besoin d'être prophète pour prévoir l'extension indéfinie de ce genre d'utilisation de l'énergie solaire.

D'après une statistique récente du Ministère du commerce, nous utilisons actuellement en France, dans 48.000 établissements, 50.000 chutes d'eau représentant 575.000 chevaux-vapeur. L'Isère et la Savoie viennent en tête avec 37.000 chevaux et 31.000 chevaux; puis nous trouvons la Haute-Savoie, les Hautes et Basses-Pyrénées avec 20.000 chevaux chacune; les Vosges avec 13.000 chevaux, le Doubs avec 11.000 chevaux. L'Italie utilise 300.000 chevaux, sur 2.500.000 chevaux disponibles; la Suisse 200.000 chevaux sur 600.000 chevaux

Comme terme de comparaison, on peut estimer à 4.500.000 chevaux la puissance des locomotives réellement utilisables en France, à 1.500.000 chevaux celle des machines autres que les locomotives.

Les États-Unis ont le monopole des chutes hydrauliques à puissance gigantesque : Niagara, Saint-Louis-River (Minnesota, Lac Supérieur) 130.000 chevaux, etc.

Actuellement, d'après M. Tavernier[1], les moyens de transport de la force par l'électricité, dont dispose l'industrie, font ressortir le cheval électrique, transporté dans un rayon de 20 kilomètres, à 60 francs par an, et à 195 francs dans un rayon de 50 kilomètres.

Le transport d'énergie de Saint-Georges, qui utilise une chute de 100 mètres de l'Aude dans les Corbières, transporte plus de 3.000 chevaux sur un réseau de 400 kilomètres; le courant triphasé a 20.000 volts sur les premiers 70 kilomètres; les distributions locales sont ensuite ramenées à 5.000 volts. Les compagnies de chemins de fer étudient dès à présent la possibilité d'utiliser la nouvelle source d'énergie, le long de leurs sections suffisamment voisines des régions montagneuses.

Avec l'utilisation des *marées*, nous abandonnons les sources d'énergie exclusivement thermiques et solaires; on sait que le flux et le reflux des océans est dû à l'attraction combinée du soleil et de la lune. Bien que cette source d'énergie soit théoriquement presque infinie,

(1) *Revue technique* du 10 novembre 1900.

elle n'est pas entrée dans une période d'utilisation pratique et nous ne la citons que pour mémoire, ainsi que celle du *vent* qui n'a jamais pris un grand développement.

Il n'en est pas de même de l'utilisation des *hydrocarbures naturels liquides ou gazeux,* tels que le pétrole, le naphte, etc. Sans doute, les géologues sont encore divisés sur la question d'origine de ces hydrocarbures; il n'est pas douteux qu'une partie d'entre eux ne soit due au métamorphisme et à la distillation des débris végétaux et animaux, accumulés dans certaines couches de l'écorce terrestre. Mais les fumerolles volcaniques carbonées et hydrocarbonées ont certainement une origine plus profonde, en relation avec la composition du noyau de la terre, et ceux de ces produits, qui nous arrivent des profondeurs non oxydés ou incomplètement oxydés, nous fournissent une énergie potentielle qu'il ne faut pas rapporter à la chaleur solaire, mais bien au restant d'énergie que le noyau terrestre a conservé ou acquis en se rétractant et en passant de l'état de nébuleuse à l'état actuel.

Les mémorables travaux de M. Berthelot, sur la synthèse des hydrocarbures, et de M. Moissan, sur les carbures métalliques, ont éclairé ces questions de géogénèse d'un jour inattendu, dont il convient de faire ressortir l'extrême importance théorique, même au point de vue restreint des sources d'énergie mécanique dont dispose l'industrie. En effet, les combustibles minéraux, solides et liquides, sont encore actuellement, et pour longtemps, les réservoirs d'énergie auxquels nous puiserons le plus volontiers. De même que les plantes et les arbres qui poussent sous nos yeux, ils ont pour origine primordiale et pour éléments combustibles dominants le carbone et l'hydrogène. Quand la contraction et le refroidissement du globe terrestre ont permis aux premières combinaisons chimiques de ne plus se dissocier, à peine formées, l'hydrogène s'est combiné à l'oxygène pour former l'eau des océans, et le carbone du bain de fonte impure, que constitue le noyau terrestre, s'est partiellement transformé en acide carbonique de l'atmosphère, permettant à la végétation de s'épanouir et de fixer le carbone sous des formes superficielles variées.

Mais il n'est pas douteux qu'il n'existe encore, en grande profondeur, une énorme réserve de ces corps, sous forme de carbures et

d'hydrures métalliques. Tous les appareils volcaniques donnent naissance à des fumerolles dont les dernières (chronologiquement parlant) et les plus froides sont toujours carbonées. Actuellement encore le sol de l'Auvergne laisse échapper des flots d'acide carbonique par toutes ses fissures, aussi bien celles des granites et des gneiss que celles de ses bassins tertiaires. Il faut en effet se représenter les appareils volcaniques exondés comme de vastes cheminées d'appel, où les fumerolles tendent le plus souvent à s'oxyder avant même de gagner leurs orifices de sortie. Cependant, quand cette oxydation fait défaut ou est incomplète, ce sont des carbures d'hydrogène qui s'échappent; le naphte, l'asphalte prennent naissance. M. Fouqué a même constaté avec précision que l'hydrogène accompagne certaines fumerolles lorsqu'elles se produisent sous l'eau (Santorin).

Dans le même ordre d'idées. il est dès à présent possible d'utiliser les *eaux chaudes naturelles* ou amenées des profondeurs du sol par les sondages artésiens, pour vaporiser et mettre en pression des liquides volatils, tels que l'acide sulfureux. Il suffit de disposer d'une quantité suffisante d'eau froide, pour réaliser un cycle thermique, qui peut devenir une source d'énergie importante.

Il n'est donc pas exact de représenter le soleil comme l'unique source de l'énergie mécanique à la surface de la terre, bien qu'il soit vrai qu'il en est de beaucoup la principale.

Aux différentes sources d'énergie ainsi passées en revue correspondent les diverses machines, dites *motrices*, dont se sert l'industrie.

L'énergie thermique est utilisée en vaporisant l'eau (générateurs de vapeur) et la faisant agir soit sur des machines à pistons (machines à vapeur), soit dans des appareils à réaction (turbines à vapeur).

Elle peut aussi être utilisée sous forme de machine à combustion et le plus souvent à explosions; alors le combustible solide, liquide ou déjà gazéifié, sert à préparer les mélanges combustibles ou explosifs.

L'énergie solaire, transformée en chute d'eau, est recueillie au moyen de machines hydrauliques variées, dont les plus usitées sont les turbines.

Enfin, on sait que le transport de la force motrice par l'électricité

est désormais entré dans une phase pratique et l'industrie compte de nombreuses machines électriques motrices; ce sont à proprement parler les réceptrices des électriciens, et la genèse de la force motrice comporte alors un intermédiaire électrique, comprenant des génératrices, des conducteurs et des réceptrices qui se greffent entre le consommateur et la première source d'énergie mécanique.

Machines à vapeur. — L'utilisation industrielle de la vapeur d'eau sous pression est arrivée à un tel degré de développement et de perfection, que les progrès sont désormais lents et de nature secondaire.

Les *générateurs de vapeur* ne présentent aucun type tout à fait inédit et nouveau; l'emploi généralisé des tôles et des tubes d'acier, l'emboutissage et la confection des rivures obtenus par des moyens mécaniques et des machines-outils et reléguant la main-d'œuvre au second plan, tels sont les traits sinon nouveaux, du moins plus marqués de la construction.

En même temps, les chaudières multitubulaires se répandent et se perfectionnent; en France, leur proportion à l'ensemble des appareils employés passe, pendant la dernière décade, de 2 à 4 p. 100. Elles sont encore trop tributaires d'accidents de détail; à l'origine, les accidents provenaient le plus souvent de la rupture des tubes bouilleurs, par manque d'eau local ou généralisé. Une meilleure circulation de l'eau et de la vapeur et surtout l'emploi de précautions permettant de diriger d'une façon inoffensive le flux de gaz chauds en cas de rupture, ont diminué très sensiblement cette cause primordiale d'accidents. Actuellement, les désassemblages[1] causent les deux tiers des accidents mortels dus aux chaudières multitubulaires. Les assemblages à emmanchement vissé, avec une profondeur suffisante du filet, donnent une garantie à peu près absolue; le dudgeonnage peut également fournir de bons résultats, à condition qu'il soit fait avec soin et dans le bon sens; les assemblages amovibles, avec boulons à ancres et joints coniques, demandent de grandes précautions; ils ne présentent de véritables garanties que lorsque la pression tend à les serrer,

[1] Walckenaer, *Les chaudières à tubes d'eau;* Congrès international de mécanique, III, 43.

comme c'est le cas pour les tubes Field. Quant aux tampons obturateurs des trous de nettoyage, l'emploi exclusif de joints autoclaves doit être considéré comme indispensable.

Aux chaudières multitubulaires, appartiennent les types si intéressants des chaudières à petits tubes d'eau contournés, dans lesquels la circulation intensive est seule chargée du nettoyage des tubes, autrement impossible, à cause de leur petit diamètre et de leur contournement. Elles tendent à prendre un certain développement, à cause de leur emploi fréquent à bord des torpilleurs. On peut leur rattacher, comme dernière simplification, le type à serpentin dans lequel le volant de chaleur est confié au métal, la quantité d'eau contenue étant insignifiante. M. Serpollet a montré que, moyennant certaines précautions, ce type était viable et pouvait fournir d'intéressantes applications à la traction mécanique des tramways et des automobiles.

D'une façon générale, l'emploi plus fréquent des chaudières à tubes d'eau a contribué à augmenter sensiblement le taux de la pression pratiquement utilisée dans les appareils à vapeur; l'emploi des surchauffeurs s'est aussi généralisé. Quant aux réchauffeurs, le système multitubulaire leur a donné un regain de vitalité, en diminuant l'inconvénient de la condensation des fumées froides et des corrosions extérieures, qui mettent si rapidement hors d'usage certains réchauffeurs à corps cylindriques des anciens modèles.

Avec une bonne installation de générateurs, on peut utiliser 65 à 70 p. 100 du pouvoir calorifique du combustible employé.

Ainsi, en résumé, le chemin parcouru depuis 1889, en matière de générateurs de vapeur, montre nettement l'augmentation croissante et rapide du taux de la pleine pression; l'emploi plus généralisé des chaudières à tubes d'eau, notamment comme surchauffeurs et réchauffeurs; l'extension indéfinie et désormais presque exclusive de l'emploi des tôles et tubes en acier; le machinisme intervenant dans le cintrage des tôles et dans la confection des rivures. En même temps les précautions se multiplient contre les accidents, qui au total sont en décroissance sensible; on s'ingénie dans la distribution des issues des chaufferies, dans la fermeture étanche et solide, souvent

automatique, des portes de foyer, de cendrier, de boîtes à tubes; on tend à créer des issues faciles et inoffensives aux flux de vapeur, jadis homicides; enfin on se préoccupe avec sollicitude des assemblages des chaudières multitubulaires.

En terminant ce qui concerne les générateurs, il convient de rappeler l'action généralement tutélaire que les associations de propriétaires d'appareils à vapeur exercent, tant au point de vue de la sûreté publique que du bon entretien et de la bonne marche des appareils. Ces associations continuent à se développer en France et à seconder efficacement les efforts des services de surveillance; elles avaient exposé une série de pièces et de débris curieux et instructifs, au point de vue des causes des explosions; elles font en outre paraître des comptes rendus annuels contenant des notes et des mémoires intéressants.

Les *machines à vapeur à pistons* à mouvement alternatif sont, elles aussi, arrivées à un état presque stable qui témoigne de leur extrême perfection; il est presque inutile d'ajouter qu'elles sont et resteront longtemps encore les maîtresses incontestées de l'industrie moderne. Elles portent cependant en elles une cause de faiblesse, pour ainsi dire théorique, qui permet de prévoir dès à présent qu'elles seront délaissées dans un avenir plus ou moins lointain : la différence de température entre la source chaude (vapeur plus ou moins surchauffée) et l'enceinte de refroidissement ne peut prendre une valeur considérable, comparable par exemple à celle que les machines à explosion permettent d'atteindre. Il en résulte que, en tenant compte des pertes dues aux générateurs, la meilleure machine à vapeur ne peut guère utiliser plus de 15 p. 100 des calories contenues dans le combustible brûlé, tandis que les machines à explosion ou combustion les moins perfectionnées atteignent 20 p. 100 et que les plus perfectionnées ont, dès à présent, la prétention de dépasser 30 p. 100.

Cependant, il est juste d'ajouter que la machine à vapeur présente de tels avantages d'entretien, de mise en marche facile, de réglage, de régularité, et les conserve si bien jusque dans les forces les plus grandes, que de grands progrès seuls peuvent permettre aux machines à combustion ou à explosion de leur faire concurrence, au-

IMPRIMERIE NATIONALE.

dessus d'une vingtaine de chevaux. Seulement les progrès sont en cours d'études et de réalisation pratique, et l'Exposition de 1900 a nettement posé les conditions du problème à résoudre, qui est un de ceux dont les conséquences seront les plus importantes au point de vue industriel et économique.

Quoi qu'il en soit, voici le chemin parcouru depuis 1889 : les machines à détente prolongée, à triple et quadruple expansion se sont répandues de la marine dans l'industrie et s'appliquent aux moteurs de plus en plus puissants, destinés à actionner les dynamos et les alternateurs. Le type le plus général est à cylindres verticaux en tandem, et la multiple expansion s'accommode d'une pleine pression dépassant 12 kilogrammes par centimètre carré.

Les enveloppes de vapeur, déjà préconisées par Watt, se sont maintenant généralisées et s'opposent aux condensations que comporte une détente prolongée. Cependant, un autre mode de lutte contre les condensations sur les parois consiste dans l'utilisation de surchauffeurs, élevant jusqu'à 350 degrés la température de la vapeur sèche; l'emploi des huiles minérales, utilisées dans les moteurs à gaz, permet maintenant l'usage de ces hautes températures.

Les tiroirs plans et cylindriques luttent encore contre les systèmes de distribution à soupapes avec déclics ou commande continue; la tendance de plus en plus marquée à recourir aux machines légères et fortes, à grande vitesse, ne s'accommode pas toujours en effet des distributions à soupapes.

Le Creusot exposait une machine marine dans laquelle la commande du tiroir se faisait par un cylindre hydraulique à double effet; ce dernier reproduit le va-et-vient d'un autre cylindre dont le piston est actionné par un excentrique à calage et rayon variables; ce système, dû à M. Bonjour, évite tout temps perdu, grâce à la récupération d'un peu de liquide, destiné à combler les fuites, à chaque coup de piston moteur. On doit aussi à M. Bonjour un système de variation de calage des excentriques, sous l'action du régulateur[1].

Les machines Willans à simple effet, qui se composent de groupes

[1] *Revue de mécanique*, 2e semestre 1900, p. 727.

de cylindres en tandem, ont une distribution originale, par tiroir cylindrique central, jouant dans la tige creuse des pistons.

Les distributions à soupapes, auxquelles on peut donner toute la précision désirable, ont encore exercé l'ingéniosité des inventeurs : d'ordinaire, les leviers qui commandent les soupapes pivotent autour d'un axe fixe, agissant à une de leurs extrémités sur la soupape et recevant à l'autre l'impulsion du mécanisme de distribution. On remplace (Sulzer et Radovanovic) avantageusement l'axe central fixe par une surface appropriée sur laquelle roule le levier et se meut un centre instantané de rotation, qui fait croître rapidement le bras de levier agissant sur la soupape, au fur et à mesure de son soulèvement.

Parmi les récents perfectionnements de détail qui ont été apportés au système Corliss, nous relevons les dispositions, adoptées par la Société Weyher et Richemond, pour atteindre de grandes vitesses au moyen d'un enclenchement forcé, qui donne la même sécurité que si les organes de la distribution étaient à liaison rigide, sans déclics. Un excentrique de distribution commande une bielle qui détermine un mouvement circonférentiel d'oscillation autour d'un axe auxiliaire; la plaquette, entraîneuse de la soupape, rappelée par un organe spécial, participe à ce mouvement oscillatoire, aussi longtemps qu'elle est en prise avec une plaquette entraînée. Mais cette plaquette entraîneuse est, d'autre part, animée d'un mouvement oscillatoire suivant le rayon et dû à ce qu'elle tient à un excentrique lui-même mobile autour d'un autre excentrique intérieur, supposé d'abord fixe dans l'espace. Ce second mouvement oscillatoire radial détermine à un moment donné le déclenchement. Enfin, l'excentrique intérieur est, en réalité, mobile et lié par une bielle au régulateur qui agit, par conséquent, sur l'instant où s'opère le déclenchement.

Une disposition toute nouvelle, préconisée par la même maison, paraît destinée à remplacer avantageusement les soupapes dans le cas de la marche très rapide; c'est un obturateur sans frottement, en forme de cuir embouti, jouant dans une partie fixe tronconique. En réalité, cet U renversé en acier est fendu et élastique comme un segment de piston. Quand il est appliqué sur la lumière, la pression en assure la fermeture hermétique, comme dans le cas des cuirs emboutis; le sou-

lèvement, dans le sens de l'évasement du siège tronconique, est déterminé par le jeu d'un tampon meneur, dont la saillie, elle-même tronconique, s'engage entre les jambages de l'U et vient agir légèrement sur le jambage interne en le resserrant graduellement; dès lors, tout frottement cesse, à cause de la conicité, et l'U est entraîné de bas en haut, découvrant largement l'orifice de la lumière. Au retour, l'U vient s'appuyer sur un rebord qui limite sa course descendante.

Les machines à grande vitesse exigent une série de précautions très spéciales, lorsqu'elles abordent des forces atteignant et dépassant 1.000 chevaux, à plus de 200 tours par minute. Il faut s'opposer à la force d'inertie des pièces un peu lourdes, comme les pistons, en amortissant leur force vive au moyen de matelas de vapeur ou d'air. Il est nécessaire de soigner particulièrement le graissage et l'huilage des parties frottantes; dans ce but, on enferme les têtes de bielle dans des carters remplis d'huile; on envoie de l'huile sous pression dans les cylindres et au passage des axes dans les coussinets, avec récupération du lubrifiant en excès.

L'Exposition montrait une machine-pilon de 1.500 kilowatts à double effet et triple expansion, marchant à 250 tours par minute, construite par MM. Delaunay-Belleville et Cie; cette machine fait partie d'une série dont les plus faibles puissances atteignent 350 tours. M. Compère[1] a étudié le rendement des types de 75, de 120 et de 300 chevaux. La caractéristique de ces machines, qui sont à tiroirs cylindriques, sans chemises de vapeur et d'une simplicité extrême, consiste dans l'emploi d'un mode d'huilage sous pression, partant d'un réservoir unique dans lequel l'huile est refoulée par une petite pompe à piston plongeur, oscillante, dont les clapets sont remplacés par des tiroirs à lumière ménagés dans l'axe même de rotation. L'huile est conduite aux divers points à lubrifier par des canaux, ménagés dans les principaux organes, et les frottements sont réduits au minimum.

Le système Willans, déjà remarqué en 1889 et basé sur l'emploi de cylindres multiples à simple effet, était représenté par une machine de 2.400 chevaux, tournant à 200 tours par minute.

[1] Compte rendu des séances du 22e congrès des ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, 1898.

Les appareils de condensation par mélange ou par surface ne présentent rien d'inédit et pourraient être passés sous silence, si une tendance marquée ne semblait favoriser les appareils dits *à radiateurs*, qui sont, en somme, des condenseurs par surface utilisant les courants d'air naturels ou artificiels. Leurs applications au chauffage domestique, puis au refroidissement de l'eau des moteurs à explosion, commencent à se plier aussi aux machines à vapeur, notamment à celles qui sont utilisées dans la traction des tramways et des automobiles.

Tout récemment, on a fait de nouveaux et intéressants essais, pour utiliser la chaleur perdue dans les condenseurs des machines à vapeur, ou encore dans l'eau de refroidissement et les échappements de gaz des machines à explosion ou combustion. Les machines «à vapeurs combinées»[1] avaient jadis utilisé l'éther comme second liquide; c'est maintenant l'acide sulfureux qui, grâce à ses propriétés lubrifiantes et aux pressions notables qu'il acquiert rapidement (11 kilogrammes à 60 degrés), sert au second cycle. Malgré les conclusions assez défavorables que l'on peut tirer de la théorie mécanique de la chaleur, les essais pratiques semblent indiquer un gain considérable de travail mécanique, pouvant s'élever à 30 p. 100 du total. Un résultat remarquable de ces essais consiste dans l'utilisation possible des eaux chaudes naturelles ou artificiellement obtenues au moyen de sondages artésiens; quand elles seront suffisamment abondantes, elles pourront servir à la production de l'énergie mécanique, à condition qu'on dispose également de sources froides abondantes pour la condensation de l'acide sulfureux.

Les régulateurs, destinés à réduire, dans des limites aussi rapprochées que possible, la variation de vitesse de l'arbre moteur quand la demande d'énergie varie, ne présentent aucune disposition vraiment nouvelle; l'extension des régulateurs à ressorts, combattant plus efficacement que la pesanteur l'augmentation de la force centrifuge, qui croît comme le carré de la vitesse, n'est pas un fait réellement nouveau et propre à la dernière décade, non plus que l'utilisation de l'inertie tangentielle, déjà préconisée par M. Raffard en 1871 et

[1] Josse, Essais du laboratoire de Charlottenburg, *Génie civil*, 14 sept. 1901, XXXIX, n° 20, p. 321.

appliquée maintes fois sous le nom de régulateur-volant[1]. On sait que l'emploi simultané de la force centrifuge et de l'accélération tangentielle est obtenu très simplement, en faisant porter les boules par un bras perpendiculaire à l'axe de rotation et mobile autour d'une charnière excentrée; la trajectoire de la boule est ainsi oblique sur le rayon et sur la tangente.

En résumé[2], l'Exposition nous confirme dans la tendance aux machines fixes de très grande puissance, généralement verticales et à triple expansion, avec hautes pressions initiales, distribution par soupapes et enveloppes de vapeur. Ce type avait été réalisé dès 1889 par nombre de constructeurs. Divers essais intéressants nous montrent que les grandes vitesses n'ont pas dit leur dernier mot; non seulement l'Exposition présentait des types intéressants et variés de machines à tiroirs de grande puissance, atteignant 200 tours à la minute, mais, d'une façon générale, même les machines à soupapes tournent plus vite que par le passé, et certaines machines Corliss dépassent 100 tours à la minute. Enfin, la complication due aux enveloppes de vapeur, reconnues nécessaires pour éviter les condensations intempestives, amène à l'extension de l'emploi de la vapeur franchement surchauffée, qui paraît remplir le même but d'une façon peut-être plus économique.

Machines à vapeur rotatives, turbines. Ici, le progrès est évident; les tâtonnements de la première heure font place à des résultats pratiques; les applications se multiplient. Disons, en commençant, que les turbines les plus perfectionnées ne paraissent pas devoir amener à une utilisation plus économique de la vapeur d'eau. Mais elles mettent en jeu des machines motrices incomparablement plus légères que les machines à piston : M. Rateau annonce qu'une de ses turbines, de 1.200 chevaux, n'atteint pas 3 kilogrammes par cheval et qu'une modification légère permettrait de lui faire développer 2.500 chevaux sans augmenter son poids[3].

[1] Lecornu, Les régulateurs en 1900, *Revue générale des sciences*, 15 fév. 1901, p. 127.

[2] Cf. Sauvage, Les machines à vapeur en l'an 1900, *Revue générale des sciences*, 15 sept. 1900, 11e année, n° 17, p. 1009.

[3] Rateau, Congrès international de mécanique appliquée, 1900, III, p. 126.

Le principe des turbines à vapeur, à réaction, date, à proprement parler, de l'éolipyle de Héron d'Alexandrie[1]; mais les premiers essais industriels commencent avec Leroy (1838) et Tournaire (1853). La turbine à vapeur compound de Tournaire est certainement le prototype des appareils à détente successive, par passage de la vapeur dans des aubes de plus en plus larges; on y trouve déjà l'indication des dispositions à prendre pour éviter les pertes multiples et la recommandation d'employer les engrenages hélicoïdaux, dits *de White*, pour obtenir une démultiplication douce, sans chocs ni secousses.

Quoi qu'il en soit, l'industrie doit maintenant compter avec les turbines à disques multiples dont Parsons (1885) a rendu le type viable et avec celles à simples couronnes, à grand diamètre, du type de Laval (1894), qui comportent nécessairement une grande vitesse de rotation et l'emploi d'engrenages hélicoïdaux.

L'Exposition comprenait deux turbines Parsons de 100 et de 800 chevaux; le constructeur en annonçait une de 5.500 chevaux destinée à la propulsion d'un torpilleur. La maison Brown, Boveri et Cie de Baden (Suisse) a construit récemment plusieurs grandes turbines Parsons à consommation très réduite, en tout comparable à celle des bonnes machines à vapeur de même force.

Une turbine de Laval, exposée par la maison Bréguet, comptait 300 chevaux. Le réglage automatique ou à la main s'effectue en arrêtant le flux de vapeur à l'entrée de certaines aubes et permet une variation d'un dixième sans diminution sensible du rendement qui comporte une consommation de 7,5 à 9 kilogrammes de vapeur par cheval-heure. Un petit réservoir en pression projette un jet d'huile sur les dents de l'engrenage en prise. L'axe, très mince, participe des propriétés du gyroscope et, grâce à sa souplesse, acquiert et conserve sa position d'équilibre dans l'espace.

Nous devons une mention spéciale aux travaux théoriques de M. Rateau[2] sur les lois de l'écoulement de la vapeur par des orifices variés, sur l'étude des tracés des tuyères et des aubes dans les turbines à vapeur à disques simples ou multiples, sur le frottement des disques

[1] Sosnowski, *Id.*, p. 128. — [2] *Loc. cit.*

dans la vapeur, sur leur résistance aux grandes vitesses, sur la façon de diminuer les pertes de vapeur dans les appareils à disques multiples, en les séparant par des diaphragmes appropriés, enfin sur l'ingénieuse disposition des axes, doués d'une grande vitesse de rotation, en porte-à-faux dans un coussinet en graphite, qui leur permet de se centrer tout en évitant les vibrations trop accentuées.

La marche économique, dans toutes les turbines, suppose une condensation soignée, des garnitures étanches à la sortie de l'arbre moteur, enfin l'emploi de tuyères convergentes, puis divergentes, dès que le rapport de la pression d'aval à celle d'amont dépasse 0,58, pour que la vapeur se détende complètement et prenne toute la vitesse possible. Cette disposition a d'ailleurs été adoptée par M. de Laval et confirmée par les études théoriques de M. Rateau.

La construction des turbines à un seul disque est tributaire de la résistance du métal, aux vitesses tangentielles énormes qu'il est nécessaire de donner aux parties mobiles de ces appareils : à la vitesse linéaire de 150 mètres par seconde, le métal travaille, dans la section transversale de la jante, à 18 kilogrammes par millimètre carré; à 300 mètres, on arrive au chiffre formidable de 72 kilogrammes, et il est alors indispensable de faire concourir la partie centrale des disques à la résistance de l'ensemble; dans ce but, il convient, comme l'a montré M. Rateau, d'augmenter l'épaisseur du centre du disque. On peut alors, d'après lui, pratiquement aborder, avec des aciers durs spéciaux, une vitesse tangentielle de 400 mètres par seconde.

Les turbines à disques multiples ne nécessitent pas des vitesses tangentielles supérieures à 120 mètres par seconde.

Ainsi, en résumé, la qualité principale des turbines consiste dans la simplicité de leur mécanisme (si étudié qu'il doive être au point de vue théorique et à celui du soin apporté dans l'ajustage), et dans la remarquable légèreté de leur ensemble. Les progrès de ces curieuses machines sont, à proprement parler, corrélatifs de la perfection récemment introduite dans le travail des machines-outils et des qualités remarquables de certains aciers. Elles nous paraissent appelées à de multiples applications.

Classe 20.

MACHINES MOTRICES DIVERSES

Autant la machine à vapeur est voisine de ses formes parfaites et a peu varié durant la dernière période décennale, autant les **machines à explosion ou à combustion** sont de formes diverses et soulèvent de questions encore mal résolues, ou même sans solution satisfaisante. Et cependant, ici, le progrès est évident; les applications se multiplient d'une façon extraordinaire; les consommations diminuent et l'utilisation du calorique est en voie de passer de 20 à 30 p. 100, sans compter la possibilité de récupérer une bonne partie du calorique perdu par l'eau de refroidissement et par les gaz d'échappement au moyen des machines «à vapeurs combinées», et notamment à acide sulfureux[1].

Nous touchons donc à un de ces problèmes industriels en pleine période de progrès variés, de modifications incessantes et d'applications nouvelles, parmi lesquelles il nous faut chercher à discerner les voies de l'avenir. Dans ce but, nous étudierons d'abord le chemin parcouru depuis dix ans.

Pendant longtemps, on n'a connu que la machine à gaz d'éclairage; l'inventeur de ce gaz, Lebon, avait, dès 1801, pressenti cette application; Lenoir la rendit pratique en 1860 et sut même prévoir que la distillation du pétrole fournirait une essence volatile, permettant de carburer l'air aspiré par son moteur; l'ayant ainsi rendu autonome, il l'essaya, d'ailleurs sans grand succès, sur une voiture et sur un bateau. Puis vint le cycle à quatre temps de Beau de Rochas et son application heureuse dans les moteurs Otto, qui sont à simple effet : on sait que chaque temps comporte une course du piston, c'est-à-dire un demi-tour de l'arbre moteur. Dans le cas des machines à simple effet, *le premier temps, d'arrière en avant*, correspond à l'aspiration du mélange tonnant ou tout au moins de l'air comburant; *le deuxième, d'avant en arrière*, comporte la compression du mélange

[1] Voir p. 157.

tonnant ou de l'air comburant, s'élevant de 4 à 30 kilogrammes; *le troisième temps, d'arrière en avant,* correspond à l'inflammation (explosion ou combustion), qui est provoquée soit par le jeu d'un tiroir mettant en communication une flamme ou une série continue d'étincelles électriques avec le mélange combustible, soit par la compression de ce dernier dans des tubes en platine, en nickel ou en porcelaine portés au rouge par des lampes spéciales, soit par le jaillissement au bon moment d'étincelles électriques suffisamment chaudes, soit enfin par la chaleur même développée lors de la haute compression de l'air comburant; dans ce dernier cas, le combustible, gaz ou liquide, n'est introduit qu'au moment où sa combustion doit commencer. Le *quatrième temps, d'avant en arrière,* est consacré à l'échappement des gaz brûlés.

En 1889, malgré quelques essais intéressants, les moteurs à quatre temps à simple effet triomphaient sans trouver de rivaux; actuellement, ils en ont de très sérieux : d'une part, on peut les rendre à double effet, et le progrès des garnitures vraiment étanches, exclusivement métalliques, a encouragé les constructeurs dans cette voie qui rend les machines plus puissantes à poids égal (Letombe, Duplex, etc.).

Mais, en outre, le quatrième, le premier et le deuxième temps (échappement, aspiration, compression) peuvent être réunis en un seul, au moyen de pompes intermédiaires, commençant la compression, et cette solution s'accommode de la suppression des soupapes d'échappement; le cylindre joue le rôle de tiroir et démasque au bon moment des ouvertures par lesquelles s'échappent les gaz brûlés, balayés par une première admission d'air comprimé; cette solution est ingénieuse et recommandable au point de vue théorique; car le jeu mécanique des soupapes d'échappement, dans les gaz très chauds, est de plus en plus délicat, à mesure que les machines augmentent de puissance. On remarquera, en outre, que les machines à deux temps, à double effet, sont assimilables, au point de vue de l'inertie, aux machines à vapeur (Clerk, Ottis-Baldwin, Koerting, Oechelhaüser, etc.).

Ainsi, au point de vue de la classification même des moteurs qui

nous occupent, nous saisissons une sorte de tendance à lutter contre le cycle à quatre temps, à simple effet, si longtemps sans rivaux. Il ne nous paraît pas douteux que les progrès de la construction n'accentuent cette évolution vers les deux temps et le double effet; car nous en retrouvons dès à présent la trace dans une des plus importantes applications, celle qui a trait à l'utilisation des gaz des hauts fourneaux.

En effet, au gaz d'éclairage, on a vu s'adjoindre successivement, comme combustible des machines à explosion ou combustion, le gaz pauvre des gazogènes industriels, celui des fours à coke, les gaz très pauvres des hauts fourneaux et, en même temps, les gazolines extraites du pétrole, l'alcool pur ou carburé, c'est-à-dire mêlé des benzines provenant de l'épuration du gaz d'éclairage, le pétrole brut ou lampant, le gaz acétylène. Il n'est pas sans intérêt de constater l'extrême variabilité du pouvoir calorifique de ces divers combustibles : les pétroles de densité 0,87 à 0,94 donnent par kilogramme de 10.000 à 12.000 calories; les gazolines de densité 0,70 oscillent autour de 11.000; l'alcool dénaturé atteint 6.500 calories pour une densité de 0,834. Le gaz d'éclairage varie entre 5.000 et 6.000 calories par mètre cube; les gaz des gazogènes industriels oscillent entre 1.300 et 1.500 calories; le gaz des hauts fourneaux va de 850 à 1.000 calories, suivant son état hygrométrique; l'acétylène atteint par mètre cube 14.340 calories; on sait qu'il faut un peu plus de 3 kilogrammes de carbure de calcium pour produire ce mètre cube.

Telle est la flexibilité des moteurs à combustion, qu'ils s'accommodent de tous ces combustibles si divers; il suffit de modifier la quantité de comburant, c'est-à-dire d'air, qu'on leur mélange et la compression préalable à l'allumage; à volume égal d'air et de combustible, on peut encore utiliser convenablement, grâce à une compression préalable énergique et à un parfait allumage, des gaz à 700 calories par mètre cube.

Actuellement, le *gaz d'éclairage* sert aux moteurs de petite force, domestiques pour ainsi dire; exceptionnellement, on l'a utilisé pour créer de véritables usines d'électricité (Chambre des députés, Palais de glace).

Les applications industrielles utilisent le *gaz des gazogènes* (Dowson, Lencauchez, Siemens, Strong, etc.), riche en oxyde de carbone et exigeant des précautions minutieuses au point de vue de l'hygiène des ouvriers et du voisinage, notamment l'établissement d'une dépression artificielle dans les appareils en amont du gazomètre ou de la machine; les applications industrielles sont en voie d'augmentation rapide, tant par leur nombre que par la force individuelle des machines ou groupes de machines actionnées.

Les *gaz des hauts fourneaux*, utilisés au chauffage de l'air chaud et des chaudières à vapeur, constituent désormais une des sources les plus importantes de force motrice dont l'industrie peut disposer. Il y a trois ans à peine que le problème a été posé; on peut le considérer comme en voie d'être pratiquement résolu; cette histoire d'hier est instructive et nous entrerons, à son sujet[1], dans quelques détails. Aussi bien, les installations, actuellement existantes ou en voie de terminaison, comptent plus de 80.000 chevaux-vapeur.

On estime que la production de chaque tonne de fonte dégage plus de 4.000 mètres cubes de gaz, à 960 calories par mètre cube. Le chauffage de l'air insufflé dans les hauts fourneaux et la consommation des nouvelles machines soufflantes n'absorbent pas les deux tiers de cette énergie calorifique; il reste donc 1.280.000 calories inutilisées, représentant plus de 2.000 chevaux-heure, dont les machines à combustion transformeront près du cinquième, c'est-à-dire près de 400 chevaux-heure en énergie mécanique.

Si l'on rapproche ce résultat du nombre de tonnes de fonte produit annuellement[2] (2.500.000 tonnes, en France seulement), on demeure émerveillé de l'ampleur des problèmes économiques que peut susciter un progrès industriel.

Mais, en outre, la fabrication du coke au moyen de la houille est accompagnée d'un dégagement de gaz combustibles. D'après MM. Disdier, de Keyser, Savage et Jules Deschamps[3], les 1.000 kilogrammes

[1] Cf. Lurmann, *Stahl und Eisen*, 1er mai 1901. — Deschamps, *Société des ingénieurs civils*, 3 mai 1901. — A. Dutreux, *Génie civil*, nos 8, 9 et 10, 1901.

[2] Pour 7.000 tonnes par jour (production de la France), cela constitue une énergie disponible de 116.000 chevaux-vapeur.

[3] *Les grands moteurs à gaz*, Dunod, 1901, p. 11.

de coke que nécessite la production d'une tonne de fonte, correspondent à 200 kilogrammes de gaz riche dont le tiers peut être recueilli et représente 800.000 calories utilisables, c'est-à-dire près des deux tiers de l'énergie que procurent les gaz pauvres provenant des hauts fourneaux par tonne de fonte produite. Cette proportion est, d'ailleurs, un minimum; car M. Euchène a montré que la distillation de la houille peut être obtenue avec une dépense très réduite de chaleur.

Moyennant quelques perfectionnements de construction, les machines à explosion se sont parfaitement prêtées à l'augmentation de puissance qu'on leur demande en ce moment.

Dès 1889, l'Exposition nous montrait des types puissants à quatre temps et à simple effet. Les machines Otto, qui ne dépassent pas 300 chevaux par cylindre, les opposent deux à deux; dans le type Delamare-Deboutteville, on a deux cylindres en tandem, chaque cylindre atteignant une puissance de 600 chevaux; le piston et la tige sont refroidis par une circulation d'eau, assurée au moyen de joints à rotules.

La machine mono-triplex Letombe, également à quatre temps, comporte un cylindre à simple effet en tête et un autre cylindre à double effet en tandem; elle peut atteindre ainsi une puissance de 500 chevaux.

Les gaz des hauts fourneaux sont encore utilisés, dès à présent, dans d'autres moteurs à deux temps au lieu de quatre. Telle est la machine Oechelhaüser, dans laquelle une pompe auxiliaire envoie le mélange déjà comprimé dans un cylindre à deux pistons opposés, se mouvant simultanément en sens inverse. L'échappement a lieu par des orifices creusés en couronne dans le cylindre et que découvrent les pistons à la fin de leur course. Cette machine, souvent jumelée, atteint jusqu'à 300 chevaux de puissance par cylindre; son système comporte une très grande détente.

La machine Koerting est également à deux temps, mais à double effet. Elle possède deux pompes auxiliaires, l'une pour l'air, l'autre pour le gaz, ce qui lui permet de balayer les gaz brûlés par une chasse d'air, avant toute introduction de gaz. C'est la plus légère des machines à explosion, à grande puissance.

Nous venons de passer une revue sommaire des principaux types qui sont actuellement employés à utiliser les gaz des hauts fourneaux; tous ont eu à lutter avec quelques difficultés inhérentes à la nouvelle utilisation : en première ligne, ces gaz sont chargés de poussières dures et de vapeur d'eau; il a fallu les débarrasser de la presque totalité des unes et d'une partie de l'autre; en seconde ligne, la mise en marche de ces puissantes machines nécessite des dispositions spéciales; le bon allumage d'un mélange aussi pauvre exige une compression double de celle dont on se contente avec des gaz plus riches; mais cette compression n'amène aucune inflammation prématurée; enfin, il a fallu songer à une régulation presque parfaite de la vitesse de rotation, pour pouvoir actionner avec elles des dynamos et, notamment des alternateurs, et les coupler entre eux.

Les nombreux essais, opérés pour arriver à une épuration suffisamment économique des gaz des hauts fourneaux, ont éliminé tous les procédés, sauf deux principaux dont l'un, dès à présent éprouvé par une pratique suffisamment prolongée, consiste à employer la *force centrifuge* pour mettre en contact l'eau de nettoyage et les gaz, refoulés par un *ventilateur;* dès 1883, Windhausen avait préconisé ce procédé d'épuration, qui abaisse de 2 gr. 5 à 0 gr. 2 le poids des poussières par mètre cube de gaz; son seul inconvénient consiste à absorber environ 2,5 p. 100 de la force disponible et à exiger deux litres d'eau par mètre cube épuré.

Des essais récents[1] de la maison Koerting, en Silésie, paraissent devoir aboutir à un procédé plus simple; il est basé sur le passage du gaz dans des chambres, remplies d'un épais brouillard d'eau pulvérisée à haute pression, et séparées l'une de l'autre par des plaques de fonte formant chicanes : ces plaques, groupées par trois, sont traversées par de nombreuses fentes rectilignes en face desquelles la seconde plaque présente une gouttière semi-cylindrique; l'eau boueuse se condense suivant ces chicanes et s'écoule au dehors par siphons. Les gaz des hauts fourneaux ont une pression de 16 à 25 millimètres d'eau; l'appareil Koerting n'absorbe que 10 millimètres de cette pres-

[1] Cf. *Génie civil,* 10 août 1901, n° 15, t. XXXIX, p. 244.

sion et rend inutile le ventilateur. La consommation serait de 1 litre d'eau par mètre cube, pour une épuration ne laissant subsister que 0 gr. 2 de poussières. La puissance consommée serait cent fois moindre qu'avec les ventilateurs-essoreurs.

Quant à la vapeur d'eau des gaz utilisés, elle est réduite à un taux inoffensif par leur simple refroidissement, qui s'obtient nécessairement au cours de l'épuration des poussières.

La mise en marche de ces grandes machines est assurée, soit par l'introduction directe d'un mélange détonant, une fois le cylindre amené à une position convenable, soit par l'emploi d'un réservoir spécial d'air comprimé, soit enfin par l'utilisation d'un petit treuil auxiliaire, généralement mû par l'électricité, parfois par un moteur spécial.

La vitesse oscille entre 100 et 150 tours à la minute; comme les pompes à air des souffleries sont généralement attelées à la machine motrice de façon directe, il a fallu étudier des soupapes spéciales, s'accommodant de cette vitesse, qui triple environ celles auxquelles on était accoutumé.

La régulation de la vitesse angulaire des axes moteurs soulève un problème encore incomplètement solutionné et pour lequel la machine à vapeur a conservé, sur sa rivale, une supériorité marquée. Les régulateurs, généralement à ressorts, agissent souvent sur les soupapes d'échappement en les empêchant de se lever; il en résulte des absences de coups moteurs; c'est la régulation par tout ou rien; elle est économique mais accompagnée d'à-coups exigeant un grand nombre de cylindres accouplés ou des volants très pesants. On a rendu cette action progressive en chargeant le régulateur de diminuer d'abord la levée des soupapes d'échappement; une partie des gaz brûlés restent dans le cylindre et l'aspiration n'appelle plus qu'une portion de cylindrée des gaz tonnants, sans que la compression soit augmentée ou diminuée. On peut aussi diminuer cette quantité de mélange tonnant en étranglant son arrivée dans le cylindre, avec ou sans diminution de l'air mélangé; on obtient ainsi des combinaisons multiples dont les unes conservent le taux de la compression, mais diminuent le titre du mélange, et dont d'autres conservent le titre

du mélange, mais produisent un vide relatif dans le cylindre au moment de l'aspiration, et finalement une diminution de la compression.

Dans la machine Letombe, la régulation s'obtient par surcompression d'un mélange moins riche, quand le travail doit diminuer; cette combinaison est rendue possible parce que, en travail normal, l'aspiration cesse à peu près à la moitié de la course du piston; pendant la seconde moitié de cette course la ligne horizontale du diagramme, représentative de la pression atmosphérique, est remplacée par une portion d'adiabatique descendante, corrélative du vide qui se caractérise et décrite en sens inverse lors de la compression. Quand on veut diminuer le travail, on étrangle l'arrivée du combustible, mais on augmente la durée de l'aspiration à la pression atmosphérique, en sorte qu'on a un plus grand volume de mélange beaucoup plus pauvre, dont l'inflammation ne fait pas monter la température plus haut que précédemment; la remontée de l'adiabatique de compression diminue donc le travail disponible, tout en laissant la détente s'opérer à un taux plus élevé que dans les machines qui admettent des cylindrées complètes de mélange tonnant à son maximum de puissance.

Remarquons que ce dispositif favorise la détente des gaz brûlés; on obtient le même résultat en partageant la cylindrée aspirée entre les deux côtés du piston, comme dans la machine Duplex, ou en prolongeant la détente dans un cylindre spécial, comme dans la machine Roser-Mazurier.

En fait, tous ces moyens, sauf peut-être l'étranglement à l'échappement, sont insuffisants pour procurer une marche satisfaisante et économique à diverses vitesses et un rendement d'énergie varié à une vitesse constante. Seuls les moteurs à combustion, tels que la machine Diesel, paraissent en posture de résoudre le problème. Dans les moteurs à explosion, la solution la plus rationnelle consisterait à diminuer corrélativement la capacité de la cylindrée et celle de la chambre de combustion, par une disposition convenable, non seulement au point de vue cinématique, mais encore à celui des jonctions mécaniques. L'emploi de balanciers, par lesquels on rend mobile le point d'attache

de la bielle qui actionne la manivelle, a été proposé, sans sanction pratique jusqu'à présent.

Après le gaz d'éclairage, le gaz des gazogènes, celui des hauts fourneaux et des fours à coke, c'est l'emploi des essences, obtenues par la distillation fractionnée des pétroles, qui a le plus contribué à l'expansion des machines à explosion : les *gazolines* expliquent tout le succès de l'automobilisme, par leurs qualités vraiment appropriées aux besoins des machines transportables. Elles contiennent 11.000 calories par kilogramme, et, pour une densité de 0,7, 7.700 calories par litre. Avec une utilisation de 20 p. 100 cela représente, par litre, plus de deux chevaux-heure; elles se prêtent à une carburation automatique et facile à régler; leur combustion n'encrasse ni les cylindres, ni les soupapes, qu'elles ont plutôt une tendance à lubrifier.

Les machines à explosion, appliquées à l'automobilisme, sont généralement à quatre temps et à simple effet, à grande vitesse, et atteignant de 400 à 1.600 tours par minute.

La première surprise que réservaient ces moteurs aux mécaniciens, a été leur extrême endurance. Nous connaissons tels types d'entre eux, qui ont fait 20 millions de tours, sans nécessiter un démontage de soupape.

La régulation se fait, dans les anciens Daimler et le Phoenix (Panhard et Levassor), par tout ou rien, en supprimant le soulèvement des soupapes d'échappement. Amédée Bollée (de Dietrich) agit aussi, mais progressivement, sur les mêmes soupapes et obtient un réglage, sinon plus économique, du moins sans saccades brusques. Dans le robuste petit moteur de leur tricycle, MM. de Dion et Bouton ont fait varier, par manettes distinctes, le titre et la quantité du mélange tonnant aspiré. Le régulateur, dit *Centaure* (dernier moteur du commandant Krebs), agit sur la quantité de mélange aspiré au moyen d'une valve cylindrique perforée, coulissant sans frottement dans un cylindre à trous correspondants. Léon Bollée fait varier la levée des soupapes d'admission.

Malgré l'emploi généralisé de l'allumage électrique, tout procédé de réglage, agissant par diminution du titre ou de la compression du mélange tonnant, amène assez rapidement à une combustion incom-

IMPRIMERIE NATIONALE.

plète; en outre, un vide partiel pratiqué dans la cylindrée pendant le temps de l'aspiration y attire les huiles de graissage et peut rendre assez laborieuse la reprise de la pleine admission. Ici encore, le problème de la régulation n'est pas entièrement résolu.

Tout récemment, M. Hospitalier a imaginé et M. Carpentier a réalisé un indicateur optique du diagramme des moteurs thermiques à grande vitesse, qu'ils ont nommé le *manographe*. Un petit miroir, analogue à ceux des oscillographes, peut recevoir un double mouvement de rotation horizontale et verticale; un cordon flexible transmet la rotation de la machine à une petite manivelle qui agit sur le miroir au moyen d'une bielle dont l'extrémité décrit, en somme, une projection horizontale réduite du mouvement circulaire à étudier; une lentille manométrique agit verticalement, de façon corrélative à la pression. Après réglage, les courbes, qui se superposent, produisent une image que l'on peut recueillir par la photographie, et dont l'œil suit avec intérêt les déformations quand on agit sur l'avance à l'allumage, sur la carburation, sur le réglage. Nul doute que cet ingénieux petit appareil ne procure des données précieuses sur ces diverses questions, même si l'image n'est pas susceptible de fournir une mesure précise du travail développé.

Par contre, les moteurs de l'automobilisme ont résolu d'une façon satisfaisante le problème de la carburation; il comporte une pulvérisation de l'essence et l'emploi de chicanes pour la mêler intimement à l'air; le plus souvent, la pulvérisation de l'essence est obtenue par son giclage à travers un orifice étroit, provoqué par la dépression même due à l'aspiration du moteur. MM. Gobron et Brillié ont rendu pratique un distributeur rotatif à alvéoles, qui introduit dans l'air aspiré une mesure, toujours la même, d'essence; ce carburateur paraît s'appliquer facilement à l'alcool plus ou moins carburé; et, d'une façon générale, il est évidemment favorable aux mélanges de liquides inégalement volatils. Tel est aussi le cas du carburateur à distribution Brouhot.

C'est, à notre avis, l'allumage qui a le plus bénéficié des multiples essais tentés sur les moteurs des automobiles. Au début, l'inflammation

par tubes de platine, portés à l'incandescence, avait la préférence des grands constructeurs; le dispositif électrique, avec possibilité de faire varier dans de larges limites l'avance à l'allumage, adapté dès l'origine par MM. de Dion et Bouton à leur tricycle, et par M. Delahaye à ses automobiles, présente de tels avantages qu'il s'est répandu même sur les moteurs à cylindres multiples, malgré l'inconvénient de la multiplicité des bobines et des conducteurs, malgré les courts circuits et la décharge intempestive fréquente des piles et accumulateurs. Actuellement de nombreux essais, dont plusieurs paraissent réussir, sont faits pour s'affranchir de la sujétion des accumulateurs, soit en les laissant entièrement de côté, soit en se donnant la possibilité de les recharger en cours de route.

Tous ces essais utilisent de petites dynamos ou des magnétos à mouvement circulaire ou alternatif. L'emploi des magnétos s'accommode du dispositif employé, dès 1884, dans certaines machines Otto qui ont mis en œuvre l'étincelle chaude et volumineuse, provenant de la rupture brusque d'un courant continu de faible voltage et de grande intensité. Il est avantageux de faire jaillir ces étincelles dans une petite cavité latérale, greffée sur le cylindre, comme les tubes de platine le sont dans le système à incandescence.

Grâce aux simplifications successivement introduites dans les moteurs, M. Buchet, qui s'est fait une spécialité des types les plus légers, est parvenu à en établir un de 45 chevaux, pesant à peine 4 kilogrammes par cheval; c'est moins que ne pesait, à énergie égale, le goéland étudié par M. Marey; encore convient-il de remarquer qu'il s'agissait de l'effort maximum, développé seulement pendant quelques secondes par cet oiseau.

L'emploi du *pétrole lampant* ou du *naphte* tout venant, qui a pour lui l'avantage du prix et la sécurité relative qu'entraîne l'usage d'un liquide moins volatil, et partant moins inflammable, s'est peu à peu répandu dans le monde agricole, bien que, pulvérisé ou même volatilisé, il encrasse encore assez vite les moteurs.

Les applications de l'*alcool pur ou mêlé de divers carburants,* dont la benzine est le plus employé, commencent à provoquer la sérieuse sollicitude des pouvoirs publics, à cause de l'extrême intérêt que pré-

senterait leur diffusion pour l'agriculture. Divers criteriums d'automobiles prouvent, tout au moins, que la plupart des moteurs peuvent s'accommoder de la substitution de ces liquides à l'essence, que les modifications à apporter aux carburateurs et aux prises d'air sont insignifiantes, enfin que la consommation est comparable, en volume, à celle de la gazoline, et dans un rapport plutôt favorable au point de vue de la consommation utile des calories. Des essais déjà nombreux[1] ont, en tout cas, fait ressortir que la carburation doit se faire à chaud, pour volatiliser convenablement l'alcool et favoriser son mélange intime avec un excès d'air. On obtient ainsi, grâce à une compression énergique, des combustions complètes qui évitent, en général, la production d'aldéhyde et d'acide acétique[2]. La vapeur d'eau, qui se produit abondamment, loin de nuire au bon fonctionnement des machines, leur donne un certain moelleux, à condition que la marche soit chaude et que la détente soit poussée aussi loin que possible.

De tels résultats sont tout à fait encourageants au point de vue technique; quant au côté économique de la question, l'alcool pur ne peut encore lutter avec le pétrole ou la gazoline; mais ses mélanges avec les benzols sont certainement en état, dès à présent, de commencer à leur faire une concurrence sérieuse. D'après les essais de M. Ringelmann et les déterminations calorifiques de MM. Sorel et Trillat, les consommations *en poids* d'un même moteur en alcool de la régie (à 10 p. 100 d'alcool méthylique), en alcool carburé contenant environ 49 p. 100 de benzol et d'essence, en essence de pétrole, sont entre elles comme 1 : 0,70 : 0,53. Si l'on tient compte des densités plus grandes des mélanges à base d'alcool et du prix actuel (1901) du litre de ces divers liquides *à Paris*, l'emploi de l'alcool carburé à 50 p. 100 procurerait, dès à présent, une économie d'environ un septième, toutes autres circonstances égales.

Nous avons étudié, avec quelques détails, les deux plus nouvelles applications des moteurs à explosion ou à combustion, utilisation des

[1] Lucien Périssé, Les moteurs à alcool, *Société des ingénieurs civils*, bulletin de juillet 1901.

[2] Elles laissent encore, parfois, se produire un charbon adhérent, à la place du noir de fumée que donne l'essence. M. Sorel vient d'étudier ces questions si intéressantes dans d'importants mémoires encore en partie inédits.

gaz des hauts fourneaux, essor de l'automobilisme. Il nous reste à mentionner les récents efforts faits vers l'emploi de plus en plus économique du combustible.

L'Exposition contenait plusieurs machines Diesel, de 10 à 70 chevaux; on sait que ces remarquables moteurs comportent une pompe et un accumulateur d'air à environ 45 kilogrammes de pression, qui servent à la mise en marche et aussi à l'injection du naphte, assurée par ailleurs au moyen d'un petit piston plongeur, dont le débit est réglé par un trop-plein et par le soulèvement d'une aiguille à pointeau.

La machine est à quatre temps, avec cette particularité que l'aspiration se fait sur l'air pur. La compression atteint 30 à 35 kilogrammes, et c'est en fin de ce deuxième temps que l'aiguille se soulève et donne passage, dans l'air porté à une haute température (600°) par sa propre compression, au jet de naphte mêlé d'air à 45 kilogrammes, qui va produire la combustion motrice. Un arbre à trois cames assure l'admission de l'air, le soulèvement de l'aiguille et l'échappement des gaz brûlés. La régulation est obtenue par variation du débit de la petite pompe à naphte.

La caractéristique de ce moteur paraît être la combustion parfaite à des allures très variées et la possibilité de produire la détente, en partant de températures maxima très différentes suivant le régime, 1.500 à 1.600 degrés en plein travail, 800 degrés pour le travail très réduit. Des essais intéressants ont été faits par M. Diesel[1] avec le charbon pulvérisé et aussi avec les gaz pauvres (tels que ceux des hauts fourneaux); ceux-ci peuvent être comprimés sans explosion, avec l'air en excès, jusqu'à 30 kilogrammes; l'injection d'un peu de liquide combustible détermine leur parfaite combustion, plus ou moins rapide suivant les quantités relatives d'air. Dans des expériences prolongées durant huit mois en Russie avec le naphte, le rendement aurait été de 25 à 27 p. 100; il ne diminue que d'environ un cinquième, quand on diminue de moitié la puissance demandée à une machine donnée.

L'Exposition contenait une autre machine à forte compression, le moteur Bancky, dans lequel des pulvérisateurs spéciaux chargent l'air

[1] *Congrès international de mécanique*, t. II, 1900, p. 60.

aspiré de 5 parties d'eau pour 1 partie de benzine; la compression y est poussée à 15 ou 20 kilogrammes et le rendement thermique annoncé serait voisin de 26 p. 100. Enfin un moteur Letombe, pouvant fournir 50 chevaux, essayé à l'Institut industriel du Nord de la France, par M. Codron, a donné, par cheval-heure, une consommation minimum de 468 litres de gaz d'éclairage ayant un pouvoir calorifique moyen de 5.125 calories; cette consommation correspond à un rendement théorique d'environ 27 p. 100.

En résumé, depuis dix ans, le nombre des machines à explosion et combustion s'est extraordinairement accru; elles sont en grand progrès, tant au point de vue de la puissance individuelle que des détails de construction, amenant à un usage plus commode et à une consommation de plus en plus économique. Les essais si remarquables de M. Diesel tendent à effacer de plus en plus la distinction trop tranchée qu'on avait établie, au point de vue théorique, entre les machines à explosion et les machines à combustion.

Pour les grandes puissances, qui atteignent 600 chevaux par cylindre (Delamare-Deboutteville), les machines à quatre temps, à simple effet, commencent à trouver des rivaux dans les moteurs à double effet et même à deux temps. Cette tendance, qui réduit le volume des machines ainsi que les difficultés relatives à l'inertie des pièces en mouvement et aux trop grandes variations de l'effort moteur, s'accentuera certainement et s'étendra aux machines de faible puissance, notamment à celles des automobiles.

On atteint dès à présent des rendements thermiques industriels de 20 à 28 p. 100; il est à prévoir que l'application des machines à vapeurs combinées, chauffées par les gaz de l'échappement et par l'eau de refroidissement augmentera ce rendement dans des proportions considérables. Le seul desideratum qui n'ait pas encore reçu une solution tout à fait satisfaisante, consiste dans la difficulté de réglage des machines à explosion qui fait contraste avec la souplesse et l'extrême douceur, dans les variations de vitesse, des machines à vapeur.

Les **récepteurs hydrauliques** suscitent les mêmes observations que les machines à vapeur; la perfection de leurs formes actuelles ne

permet plus la naissance d'un progrès vraiment important; les turbines, notamment, fort utilisées pour asservir les chutes hydrauliques, arrivent presque toutes à un taux d'utilisation (80 à 85 p. 100) de la force disponible qui ne laisse plus aucune prise à une modification radicale. L'effort des constructeurs s'est donc porté sur la perfection d'exécution et aussi sur certains détails, tels que les régulateurs de vitesse, dont les applications électriques exigent un fonctionnement rapide et délicat. Il nous paraît que l'emploi de touches et de servomoteurs électriques se développera encore à ce point de vue. Les vannages cylindriques et l'ouverture, à l'eau en excès, d'un orifice d'écoulement extérieur, qui se referme lentement, permettent d'appliquer les moyens rapides de régulation, même aux colonnes d'eau en pression, dont l'inertie serait dangereuse, en cas de fermeture brusque.

Classe 21.

APPAREILS DIVERS DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE.

La Classe 21 comprend une foule d'appareils souvent fort ingénieux, mais sans liens apparents entre eux; M. Masson les a énumérés individuellement, par groupes plus ou moins artificiels, sans chercher à en tirer quelques indications générales. On peut les classer en trois séries principales : appareils de transmission et de levage; appareils hydrauliques et à air comprimé; appareils accessoires, indicateurs, régulateurs, graisseurs. Un groupe à part comprendrait en outre les appareils d'essais divers, utilisés dans les laboratoires d'essais mécaniques, métallurgiques et de matériaux de construction.

La tendance dans le premier groupe (*levage, transmissions*) est au gigantesque; il suffit de rappeler la grue électrique Titan de 30 tonnes, de M. J. Leblanc, la grue roulante, également électrique, à portique de 25 tonnes, de M. Carl Flohr (Berlin), qui desservaient l'Exposition; la grue Titan de 45 tonnes, à vapeur, de MM. Daydé et Pillé (Creil). Dans le même ordre d'idées, la grande courroie Scellos de $2^{m}50$ sur 80 mètres, composée de 576 lanières sur champ, provenant de la dépouille de 300 bœufs, pouvait transmettre l'énergie d'une machine de 2.000 chevaux. A l'autre extrémité des appareils de levage, nous

avons remarqué l'ingéniosité des freins, à embrayage dit *servo-moteur*, appliqués à certains tire-sacs (Mégy).

Les *appareils hydrauliques* comprenaient une foule de pompes centrifuges ou à pistons, de béliers, de pulsomètres perfectionnés dont quelques-uns remarquables par leurs dimensions et leur débit; telle pompe centrifuge pouvait débiter 9.000 mètres cubes à l'heure (Vauquier); les pompes, système Rateau (Sautter, Harlé et Cie), s'appliquent heureusement au fonçage et à l'épuisement des puits[1]; les béliers Ernest Bollée fils méritent une mention spéciale, à cause des dispositions ingénieuses qui préservent leurs clapets d'une usure trop rapide ou irrégulière; leur choc est convenablement amorti et de petites ailettes les font tourner systématiquement.

M. Morane exposait une machine remarquable destinée à refouler à froid les bandages des roues sur leurs jantes, au moyen de pistons hydrauliques à 100 kilogrammes de pression.

Les compresseurs d'air Burckhardt (Bâle), les ventilateurs Rateau, etc., rentrent également dans ce groupe.

Parmi les *appareils accessoires,* notons d'abord la tendance de plus en plus marquée non seulement à graisser et huiler automatiquement les principaux organes des machines, mais encore à leur envoyer de l'huile sous pression ou fortement projetée au moyen de petits pistons plongeurs; l'appareil Dubrulle pour les automobiles, l'oléo-compresseur Hamelle, la pompe à huile Delaunay-Belleville sont des exemples probants à cet égard; les plus perfectionnés de ces appareils récupèrent indéfiniment l'huile non utilisée; toutes les machines-outils modernes sont munies de projecteurs d'huile.

Les indicateurs sont maintenant souvent doublés d'enregistreurs automatiques, très fidèles et très utiles soit aux recherches scientifiques, soit même aux préoccupations industrielles de contrôle permanent pour la sûreté et la régularité des opérations : il suffit de citer ici les ingénieux appareils indicateurs qui sortent des maisons Bourdon, Richard, etc. M. Desdouits, ingénieur en chef des chemins de fer de

[1] Les pompes rotatives de grande dimension et à grande vitesse peuvent maintenant refouler l'eau à de grandes hauteurs : l'art des mines utilise dès à présent ces puissants moyens d'épuisement.

l'État, avait exposé de remarquables appareils d'enregistrement applicables aux vitesses de rotation et aux efforts moteurs ou résistants : le tachymètre était basé sur l'emploi de la force centrifuge; quant au dynamomètre, il procédait de l'utilisation d'un pendule d'inertie et semblait doué d'une grande sensibilité.

Les machines utilisées dans les *laboratoires d'essais*, dont toutes les grandes nations tiennent désormais à honneur de doter leur industrie, étaient représentées à l'Exposition par MM. Carl Schenck (Darmstadt), Tinius Olsen et Cie (Philadelphie), Digeon, Ch. Frémont et Léon Delaloë; les machines de ce dernier étaient munies d'un perfectionnement automatique, basé sur l'emploi d'une touche électrique, assurant le mouvement du poids mobile des romaines jusqu'à parfait équilibre.

Actuellement les grands laboratoires possèdent des machines de 300 et même de 500 tonnes, susceptibles de se prêter aux essais de traction, de compression, de flexion et de torsion. Si l'on n'est pas encore arrivé à uniformiser et à codifier les essais de fragilité et de dureté, on peut du moins affirmer qu'ils prennent de jour en jour une telle importance que le but désirable sera prochainement atteint.

La fondation du laboratoire d'essais du Conservatoire des arts et métiers a suivi de près la clôture de l'Exposition de 1900; il est permis de penser que le grand mouvement scientifique et industriel, provoqué par les congrès et les réunions dont l'Exposition a été le centre, a encouragé l'État et la Chambre de commerce de Paris dans l'œuvre éminemment utile et libérale qu'ils ont entreprise à frais communs.

Parmi les laboratoires d'ordre privé dont l'Exposition a fait montre, nous devons une mention spéciale à celui de la Société industrielle des téléphones, pour ce qui a trait aux essais des câbles, des courroies et du caoutchouc.

Classe 22.

MACHINES-OUTILS.

La Classe 22 était consacrée aux machines à travailler les métaux, le bois, le liège, la pierre, soit en vue de travaux variés, soit pour effectuer seulement une opération déterminée. L'infinie variété de ces machines, qui font la force et l'honneur de l'industrie moderne,

explique le grand nombre d'appareils exposés; les machines-outils américaines avaient dû, notamment, être partiellement installées dans une annexe à Vincennes. Il nous serait impossible d'entrer dans le détail d'un pareil sujet; nous nous bornerons à esquisser les tendances actuelles, en prenant pour guide les travaux de M. G. Richard[1] et le rapport, remarquable à tous égards, de M. le commandant Albert Masselon.

Les progrès, accomplis depuis 1889, sont d'ailleurs le développement normal de ceux que la précédente Exposition nous avait déjà révélés. Nous ne voyons guère que la conduite individuelle de chaque machine par une ou plusieurs *dynamos*, et l'emploi de *nouveaux aciers* au nickel, au manganèse, au tungstène, permettant d'accélérer extraordinairement la vitesse de travail de l'outil, qui puissent être considérés comme de réelles nouveautés.

La fabrication en *séries interchangeables*, au moyen de machines spécialisées extrêmement précises, contrôlées par tout un ensemble de *jauges* et de *calibres* délicats, s'est développée d'une façon extraordinaire, grâce à l'emploi des *tours-revolver* et des *fraiseuses à gabarits;* elle a pour conséquence une fabrication rapide, économique, supprimant les tâtonnements et les retouches à l'ajustage, permettant le remplacement à distance d'une pièce avariée. La caractéristique de ce progrès est celle que nous avons bien souvent rencontrée, au cours de ces études d'ensemble : c'est la tendance à l'*automaticité,* réduisant la main-d'œuvre parfois en qualité et toujours en quantité.

On sait que le **travail des métaux** comporte le tournage, l'alésage, le perçage, le rabotage, le fraisage et le meulage.

Le travail au **tour** tend à se spécialiser; la pointe de l'outil décrit une hélice ou une spirale et donne naissance à une surface de révolution qui, à la limite, comprend le plan. L'adjonction d'un harnais, facile à manier, permet des combinaisons de vitesse entre l'avance du chariot et la rotation de la poupée; d'où la possibilité, dans les *tours à copier* ou à *guillocher,* de réaliser des profils variés. Dans les *tours à*

(1) Voir notamment le *Congrès de mécanique,* III, 213.

revolver, divers outils sont fixés dans des mordaches, portées par un barillet, qui peut tourner par saccades sur le chariot, lui-même mobile le long des glissières du banc; automatiquement le chariot s'avance, présente un de ses outils à la pièce portée sur la poupée, le met en prise et l'entraîne jusqu'à ce qu'un toc l'arrête, le recule et fasse tourner le revolver pour mettre en prise un autre outil. Une fois la pièce finie, elle est coupée par un dernier outil, puis la barre s'avance d'elle-même dans la poupée pour un nouveau cycle.

Le tour à axe vertical se substitue définitivement, au tour à axe horizontal, dans le travail des pièces de grand diamètre, pour des raisons bien évidentes de stabilité et de montage facile.

Les machines à **percer** et à **aléser** sont tantôt simples, tantôt à trous multiples soit parallèles, soit obliques entre eux, portatives ou de dimensions énormes, telles que les machines à aléser les nouvelles dynamos à courants alternatifs. Une mention spéciale doit être réservée aux machines à aléser, aussi droit que possible, les trous longs et étroits, tels que les canons de fusil.

Dans les machines à **raboter,** on supprime les temps perdus par un retour rapide à vide, mais en outre on cherche maintenant à uniformiser la vitesse de l'outil pendant son travail actif; on construit des étaux-limeurs à surfaces gauches, à tables basculantes, etc.

Les **fraiseuses** se sont beaucoup développées; elles se prêtent aux travaux les plus variés et empiètent désormais sur les machines à raboter; la multiplicité des tranchants de l'outil leur permet un travail plus énergique et plus rapide; c'est à elles qu'on demande la taille des engrenages, des vis sans fin, des scies à métaux; l'emploi des nouveaux aciers multipliera encore leur puissance.

Ce sont peut-être les machines à **meuler** qui ont fait les plus grands progrès; elles se prêtent désormais à l'affûtage des outils les plus compliqués; elles constituent à proprement parler des fraises à dents innombrables; l'emploi des émeris artificiels et du carborundum, obtenus aux fours électriques, en a vulgarisé la matière première. C'est l'outil finisseur par excellence, notamment pour les pièces en aciers d'une dureté exceptionnelle, comme la métallurgie commence à en produire.

Le **travail des tôles minces** a donné naissance à d'ingénieuses machines-revolver, à emboutir, à agrafer et même à souder, qui prennent à un bout la tôle et la rendent à l'autre, sous forme de boîtes métalliques et d'ustensiles de ménage.

Depuis 1889, les **machines à travailler le bois** n'ont pas réalisé de progrès bien marquants; M. Masselon cite seulement à ce point de vue de puissantes machines américaines à amenage, à grande vitesse, permettant l'exploitation rapide et économique des vastes forêts.

L'**exploitation de la pierre**, le forage des trous de mine et de sondage, sont tributaires des progrès réalisés pour scier ou découper les pierres à l'aide du diamant; on trouve également, dans cette spécialité, les appareils frappeurs portatifs et les machines à percer, soit électriques, soit hydrauliques, soit à l'air comprimé, dont certaines variantes sont aussi employées dans le travail des métaux (rivetage, etc.).

L'usage des machines-outils perfectionnées suppose l'emploi de dessins rigoureusement exacts, de gabarits, de jauges et de calibres exécutés avec une précision irréprochable, enfin de **machines de contrôle** parmi lesquelles il faut citer comme renouvelés ou nouveaux le micromètre-étalon au millième, de MM. Barriquand et Marre, et l'appareil du capitaine Devé pour la vérification optique des lignes et des surfaces.

La tendance des principaux constructeurs est désormais de s'entendre, autant que possible, sur les formes et tracés d'un certain nombre d'organes : filetages, engrenages coniques, etc. Il y a là, tout à la fois, matière à simplifier et possibilité d'une grande économie, dans l'achat du matériel des ateliers de construction.

CINQUIÈME GROUPE.

ÉLECTRICITÉ.

Classe 23.

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1].

Les progrès de la science de l'électricité sont liés aux progrès des industries électriques d'une façon tellement intime qu'ici science et industrie ne constituent, à proprement parler, qu'un seul corps de doctrine; ce n'est guère qu'en chimie que nous retrouvons une alliance aussi étroite entre la théorie et la pratique.

Il est juste d'ailleurs de remarquer que, malgré d'admirables tentatives de synthèse, dont celle de Maxwell est la plus célèbre, la science de l'électricité consiste plutôt, jusqu'à présent, en une série d'applications des théorèmes généraux de la mécanique rationnelle qu'en une vue approfondie des mouvements ou des émissions, qui constituent les divers modes suivant lesquels se manifestent à nous les phénomènes électriques.

Et cependant, il est certain que le calcul joue un rôle prépondérant dans les problèmes dont la solution s'est imposée à nous, surtout depuis l'extension des courants alternatifs; la variation périodique de leur intensité a compliqué les équations, dans lesquelles entrent désormais les dérivées de cette intensité, et empêché l'application pure et simple des lois qui régissent les courants continus; la notion de phase s'est également introduite et les phénomènes de self-induction se sont multipliés. On peut dire que toute la science moderne des courants alternatifs est basée sur une série d'approximations, tout comme le calcul de la résistance des matériaux.

[1] Nous n'avons pas reçu en temps utile le rapport sur la Classe 23, mais M. Hospitalier a bien voulu nous donner ses bons conseils.

Dès à présent, cette science a provoqué de telles découvertes, de tels changements dans la vie de l'humanité qu'on est confondu du chemin déjà parcouru et persuadé que celui qui reste à parcourir sera plus étendu encore.

Avant 1889, nous étions déjà redevables à l'électricité du télégraphe, du téléphone, de la source de lumière la plus intense et la plus hygiénique et de l'électrolyse. Dans les dix dernières années, nous voyons les applications à la téléphonie, à la lumière et à l'électrolyse se généraliser de jour en jour et, pour ainsi dire, se vulgariser; en même temps, nous assistons à la naissance de la télégraphie sans fil et du four électrique; le transport de l'énergie à grande distance devient possible et réalise sur une échelle grandiose l'utilisation des chutes hydrauliques; le courant électrique deviendra bientôt une source de chaleur applicable aux besoins domestiques et à ceux de l'industrie.

C'est de 1882 que date la première application, vraiment industrielle, de l'électricité à l'éclairage des villes et au transport, alors peu lointain, de l'énergie; il n'y a pas même vingt ans, en effet, qu'a été mise en service la station centrale de Pearl-Street à New-York, construite sur les données d'Edison.

En 1883, M. Marcel Desprez montre qu'on peut obtenir un champ magnétique tournant, au moyen de deux bobines placées à angle droit et recevant des courants alternatifs, décalés d'un angle droit l'un par rapport à l'autre.

A la même date se place l'invention, par Gaulard, du transformateur, qui n'est qu'une bobine d'induction, permettant, sans pièce mobile et sans perte excessive, de modifier à volonté la tension des courants alternatifs.

Ces découvertes et ces applications contenaient en substance le germe des progrès à venir; mais, à l'origine, on se contenta de les appliquer aux distributions de lumière, qui n'exigent pas un redressement ou une accommodation des courants alternatifs monophasés. Pour le transport de l'énergie, on s'en tenait aux dynamos à courant continu qui, utilisées individuellement, ne pouvaient guère franchir

pratiquement plus de 7 à 8 kilomètres, sous une tension de 1.000 à 1.500 volts. Quant aux alternateurs, on leur demandait jusqu'à 10.000 volts; mais les réceptrices du monophasé sont ou de petits moteurs à collecteurs, incapables de grandes puissances, ou des moteurs synchrones, qui ne démarrent pas spontanément et exigent un débrayage et une mise en vitesse préalable.

Ce n'est qu'en 1891 que se développèrent simultanément les deux systèmes qui permettent de franchir des distances croissantes de jour en jour, l'un reprenant la notion féconde des champs tournants et basé sur l'emploi des courants polyphasés (Ferraris, Tesla, Brown, Hutin et Leblanc); l'autre fondé sur le couplage en tension de dynamos à courants continus (Thury).

I. — Les **courants polyphasés** sont obtenus par un système de courants alternatifs simples, grâce auxquels, au moyen de différences de phases méthodiquement distribuées, on fait naître à volonté un champ magnétique tournant, dans les réceptrices. Ils possèdent tous les avantages des courants alternatifs : facilité de production des hautes tensions, transformation économique au moyen d'appareils légers et sans pièces mobiles, génératrices sans collecteurs ni balais. En outre, les réceptrices à champ tournant peuvent être asynchrones; elles démarrent en charge, moyennant quelques précautions (introduction de résistances, etc.) qui vont se perfectionnant tous les jours, et bien que moins souples que les dynamos à courant continu et se prêtant moins bien aux variations de vitesse, elles tendent avec évidence à un perfectionnement de plus en plus satisfaisant : leurs applications aux grands chemins de fer se multiplient, là surtout où la longueur de la ligne nécessite l'emploi des hautes tensions et la transformation; les réceptrices à champ tournant peuvent utiliser, sans inconvénient, des courants à très haute tension (5.000 volts) que sont loin de supporter individuellement les réceptrices à courant continu.

C'est l'Exposition de Francfort (1891) qui montre la première application, sur une grande échelle, des nouveaux courants; l'installation, due à l'Allgemeine-Elektricitäts-Gesellschaft (von Dolivo-Dobrowolsky) et aux ateliers d'Oerlikon (Brown), transportait à 177 kilo-

mètres de distance une puissance de 100 chevaux, par l'intermédiaire d'un courant triphasé à 8.000 volts de tension, et moyennant une perte de 25 p. 100. Mais, dans quelques essais spéciaux[1], on avait pu, dès lors, transmettre 180 chevaux, en élevant la tension à 28.000 volts.

Depuis cette époque, les installations analogues se sont tellement multipliées que la marche vers le progrès est nettement à rapporter aux courants triphasés, avec double utilisation des transformateurs, au départ pour augmenter la tension, à l'arrivée pour l'abaisser, et quand le besoin s'en fait sentir, avec emploi de commutatrices rotatives, qui peuvent engendrer du courant continu. On sait que, dans ces ingénieuses machines, le courant triphasé pénètre d'un côté par des bagues, tandis que le continu sort de l'autre par collecteur et balais; ce sont des réceptrices synchrones.

II. — Malgré les avantages, souvent prépondérants, des courants polyphasés, l'emploi des **courants continus** est encore préféré dans beaucoup de cas; à tension égale, il est plus facile d'isoler efficacement leurs conducteurs et ils se montrent d'un maniement moins dangereux. Les réceptrices sont beaucoup plus souples et la possibilité d'exciter leurs inducteurs en série, en dérivation, ou par un système mixte connu sous le nom de *compound*, permet de faire varier leur puissance et leur vitesse dans des proportions beaucoup plus grandes que celles des moteurs à champs tournants; le démarrage y est facile et elles constituent actuellement encore le type des machines de tramways et d'automobiles.

Si l'on ajoute à ces avantages les grands progrès réalisés dans la confection des balais en charbon et des collecteurs, on conçoit que le continu ait encore ses zélateurs, et l'on s'explique les efforts, en somme couronnés de succès, grâce auxquels M. Thury a réalisé des installations de ce genre, transportant l'énergie à grandes distances[2].

Le système de M. Thury consiste à coupler toutes les machines en

[1] A. Potier, *Les courants polyphasés*, Congrès international de physique de 1900.

[2] De 1893 à 1900, M. Thury a installé le transport d'environ 17.000 chevaux (Val-de-Travers, Saint-Maurice-en-Valais, etc.).

série : les génératrices pour obtenir la tension nécessaire au transport économique du courant à grande distance; les réceptrices pour y abaisser convenablement la tension. Un pareil système suppose une régulation parfaitement établie, non seulement sur les turbines motrices et les génératrices, mais sur les réceptrices. L'intensité étant constante, il ne peut pas être question de coupe-circuits usuels; pour isoler une partie du circuit ou une machine, les appareils automatiques, imaginés par M. Thury, se composent du *by-pass* ou interrupteur à enclenchement, commandé par un électro-aimant, et du *déclencheur par inversion ou de vitesse,* mettant en court circuit une réceptrice qui s'emballe ou qui s'inverse.

Malgré ces efforts et ces ingénieux dispositifs, le triomphe, tout au moins momentané, du triphasé sur le continu ressort avec évidence de la comparaison des récentes installations, qui ont trait au transport lointain de l'énergie; nous croyons que ce triomphe s'accentuera encore dans un prochain avenir, à cause de la facilité d'entretien des alternateurs et de transformation de leurs courants. Quant aux réceptrices, il se pose à leur égard un problème analogue à celui que les machines à explosions nous présentent : le progrès à chercher consiste à les rendre plus maniables, susceptibles de marcher dans de bonnes conditions à des vitesses plus variées; il ne nous paraît guère douteux que ce problème sera résolu dans un bref délai. Les alternateurs ne peuvent être pratiquement couplés en série; pour augmenter la tension, on se sert des transformateurs. Le couplage en parallèle est au contraire entré dans la pratique; les conditions de régularité de marche et de synchronisme qu'exige un pareil couplage, commencent à être connues; elles ont donné naissance à d'ingénieux dispositifs dont il sera question plus loin.

Génératrices. — L'Exposition reflétait l'état actuel de l'industrie et nous a surtout montré des dynamos à courant continu et des alternateurs à courants triphasés.

Les *dynamos à courants continus* se distinguent les unes des autres par le mode d'enroulement du fil bobiné sur l'induit, le nombre et la

IMPRIMERIE NATIONALE.

répartition des pôles, l'excitation, la disposition des collecteurs et des balais. De grands progrès ont été réalisés dans cette disposition; les balais se font maintenant en charbon, qui augmente la résistance à la mise en court circuit des lames et supprime presque complètement les étincelles, jadis destructives, du collecteur.

La puissance individuelle des dynamos a pu ainsi être considérablement augmentée; la maison Siemens brothers, de Londres, exposait une génératrice de 1.500 kilowatts, actionnée à 200 tours par minute, par une machine à vapeur Willans. M. Thury affirme que la construction de dynamos, donnant 3.500 volts aux bornes, est devenue pratiquement possible.

Les *alternateurs à courants triphasés* ne sont plus les machines, dites *à fer tournant*, dans lesquelles les variations de flux magnétique, produisant le courant, étaient obtenues par la rotation de pièces ne comportant aucun enroulement. Ce système, par ailleurs ingénieux, produisait des fuites magnétiques exagérées.

Les machines actuelles ont généralement l'induit fixe et l'inducteur tournant, ce dernier ayant le plus petit diamètre. Quelques types sont cependant du système inverse; les pôles sont alors à l'intérieur du volant qui les supporte et la force centrifuge applique les bobines sur la jante au lieu de tirer sur les boulons d'attache.

En général, les inducteurs sont constitués par des lames de cuivre séparées par une matière isolante; on sait qu'il n'existe ni collecteurs, ni balais, mais bien de simples bagues à frotteurs.

Le plus grand alternateur exposé était celui de la Société Hélios, de 3.000 kilowatts; l'inducteur-volant avait 8 mètres de diamètre, la couronne fixe de l'induit, 9 m. 5; il pouvait alimenter 75.000 lampes à incandescence de 16 bougies.

Les alternateurs ne peuvent créer eux-mêmes leur champ magnétique inducteur, puisque le courant alternatif qu'ils produisent, lancé dans un électro-aimant, y induit une aimantation changeant périodiquement de signe. On est donc obligé de leur adjoindre des dynamos à courant continu, dites *excitatrices*. Ces machines auxiliaires peuvent dépendre de l'alternateur ou en être entièrement indépendantes. On sait que, dans le premier cas, quand l'alternateur se ra-

lentit, le courant de l'excitatrice diminue dans l'inducteur et la tension de la génératrice baisse; aussi préfère-t-on, malgré la complication, les excitatrices indépendantes.

Cette importante question a été récemment reprise et étudiée par nos plus éminents électriciens et notamment par MM. Boucherot, Hutin et Leblanc. Ils ont cherché à réaliser des excitatrices à commande directe, telles que la tension aux bornes de l'alternateur soit constante et sensiblement indépendante de son débit.

L'excitatrice de M. Boucherot, construite par la maison Bréguet, est à enroulements sinusoïdaux; elle reçoit des courants inducteurs alternatifs triphasés et donne un courant continu; il lui est adjoint un transformateur dit *de compoundage*. En effet, M. Boucherot, après avoir cherché la valeur que doit avoir le courant continu d'excitation pour que la tension de l'alternateur reste constante, en déduit la valeur que doit conserver la différence de potentiel aux bornes des enroulements inducteurs de l'excitatrice; le transformateur de compoundage réalise cette variation, au moyen d'enroulements convenablement calculés.

MM. Hutin et Leblanc ont, eux aussi, imaginé une excitation compoundeuse recevant du courant triphasé, et donnant du continu, convenablement dosé, pour rendre constante la tension aux bornes de l'alternateur. Le groupe électrogène Grammont-Piguet, de 600 kilowatts, à induit en étoile, à 50 périodes par seconde et différence de potentiel efficace de 2.400 volts, présentait cette ingénieuse disposition.

L'excitatrice se compose d'un induit ordinaire de machine à courant continu, dans lequel les connexions avec les touches du collecteur sont renversées, de telle façon que la rotation normale du collecteur par rapport aux balais doit être inversée. L'induit est soumis à l'influence de deux inducteurs (stators), dans l'un desquels un champ tournant est déterminé par une dérivation prise aux bornes de l'alternateur, tandis que l'autre est en série avec l'induit.

Dans ces conditions, et l'induit étant animé, par engrenages, d'une vitesse angulaire en proportion convenable avec celle de l'alternateur, les balais fixes recueillent un courant continu que l'on peut

doser, en disposant convenablement les stators, de façon à rendre le compoundage, sinon rigoureux, du moins très suffisant pour les besoins pratiques. On remarquera que c'est le pignon de l'excitatrice qui, dans la disposition Hutin et Leblanc, est moteur par rapport à la roue dentée calée sur l'axe de l'alternateur.

On doit encore à M. Leblanc un *amortisseur*, universellement apprécié[1], pour faciliter la mise en parallèle des alternateurs monophasés et aider à la conservation de leur synchronisme. Il est essentiellement constitué par des conducteurs auxiliaires, réunis en cage d'écureuil, entourant en court circuit les épanouissements polaires de l'inducteur. On conçoit que, dès que, par une différence de vitesse, l'induit de l'alternateur est traversé par un courant provenant des autres machines, la cage d'écureuil devient elle-même le siège de courants induits qui provoquent précisément un ralentissement ou une accélération favorables.

Les *alterno-moteurs* ou machines réceptrices à courants alternatifs ont fait, dans ces dernières années, de grands progrès, grâce à l'emploi, désormais presque exclusif, des courants polyphasés; on les distingue en synchrones, jouissant sensiblement des mêmes propriétés et présentant les mêmes inconvénients que les moteurs synchrones des courants monophasés, et en asynchrones qui font concurrence, dès à présent, aux réceptrices à courant continu, même sur les locomotives.

Cependant, leur couple moteur est souvent insuffisant au démarrage et l'on a dû imaginer plusieurs dispositifs pour en augmenter la puissance. Tantôt on se sert d'un induit à deux bobinages n'ayant pas le même nombre de spires et que l'on met en opposition pour le démarrage, en court circuit pour la marche normale (Georges, Siemens et Halske). Tantôt on introduit momentanément des résistances dans le circuit induit soit à la main, soit automatiquement (Boucherot, cages d'écureuil dont les barres de cuivre sont soudées en leur milieu à une bague de maillechort).

On peut encore (Krisik) adjoindre, à chacune des trois bagues des récepteurs, deux résistances, l'une à bobine, l'autre à fil droit; au dé-

[1] Voir cependant les critiques de M. Fischer Hinner, *Electrical World*, 28 décembre 1901.

marrage, le glissement est maximum et la self-induction tellement considérable dans la bobine que le courant passe tout entier dans le fil droit qui présente une grande résistance intrinsèque. Quand le régime est établi, la différence de vitesse angulaire de la génératrice et de la réceptrice est minime, ainsi que la self-induction dans la bobine, par ailleurs peu résistante, et tout le courant abandonne le fil droit pour passer par la bobine.

Enfin, dans les mines grisouteuses, il faut éviter les étincelles ou tout au moins leur contact possible avec un mélange détonant; on peut se servir d'un artifice qui consiste à enfermer la réceptrice dans un carter d'air pur comprimé à quelques atmosphères, ou encore utiliser les réceptrices à induit en court circuit et sans aucun contact mobile, comme l'emploi des courants polyphasés permet d'en établir. Dans ce cas, le démarrage peut être facilité par l'emploi d'un autotransformateur, doublant momentanément les courants reçus par l'inducteur, sous un voltage moitié moindre.

L'application directe des courants polyphasés à l'exploitation de lignes de chemins de fer à grand trafic a posé nettement le problème de la variation de puissance et parfois de vitesse des automotrices ou des locomotives, notamment lorsque les trains parcourent des trajets à profils accidentés. Une des solutions adoptées (Chemin de fer de Thoune à Burgdorff) consiste à augmenter le nombre des moteurs au moment voulu. Une autre, plus élégante, est adoptée par la maison Ganz (chemins de fer de la Valteline) : l'induit de chaque moteur peut être fermé sur l'inducteur d'un moteur auxiliaire, ce qui réduit la vitesse et augmente le couple moteur. D'ailleurs le sens de rotation de ces moteurs peut être inversé, en modifiant le sens du courant dans un certain nombre de bobines inductrices.

On appelle *machines polymorphiques* celles que l'on destine à recevoir une espèce de courant. continu ou alternatif, et à en fournir une autre. Les plus répandues sont les *commutatrices* qui reçoivent un courant polyphasé et restituent un courant continu. La Société alsacienne exposait une commutatrice recevant six phases à ses anneaux et rendant du continu à ses balais; on diminue ainsi la chaleur qui se perd dans les induits.

Enfin M. Leblanc s'est proposé de résoudre le problème de la transformation d'un système quelconque de courants en un autre système, problème déjà résolu dans un cas particulier par M. Scott, dont le transformateur fait du courant triphasé avec du diphasé et réciproquement. *Les transformateurs-redresseurs* de M. Leblanc sont basés sur l'emploi de collecteurs et de balais tournants, fractionnant l'envoi du courant dans des bobines convenablement calculées. La rotation de balais extérieurs, influencés par la force centrifuge et pressés inégalement sur les collecteurs rendait ces appareils peu pratiques; une nouvelle disposition dans laquelle les balais, intérieurs à un collecteur creux, sont appuyés contre lui par la force centrifuge, semble devoir donner de meilleurs résultats.

Classe 24.

ÉLECTRO-CHIMIE.

M. H. Becquerel, membre de l'Institut, rapporteur de la Classe 24, fait remarquer, en commençant sa savante notice, que l'Exposition de 1900 est la première dont les produits électro-chimiques aient constitué une classe à part. Il en profite pour résumer succinctement l'histoire des patientes recherches de laboratoire, qui ont fondé la nouvelle industrie; elles comprennent toutes les découvertes afférentes aux piles électriques, à l'arc, à l'eudiomètre, et les noms illustres de Beccaria, de Volta, de Lavoisier et Laplace, de Gay-Lussac et Thénard, d'Œrsted, de A.-C. Becquerel, s'y unissent à ceux de Grove, Bunsen, Faraday. C'est en 1838 que Jacobi et Spencer découvrent la galvanoplastie; puis viennent les applications du courant voltaïque à l'électrolyse dont l'isolement du fluor par M. Moissan (1886) peut être considéré comme le couronnement.

Entre temps, une pléiade de savants établissent les principes de la transformation des divers genres d'énergie entre eux; la thermodynamique est fondée et appliquée aux phénomènes chimiques et électriques; puis nous voyons naître et se développer la théorie des ions, émise dès 1855 par Hittorf, et dont les applications seront fécondes.

Entre les mains de M. Berthelot, l'effluve électrique se transforme en un puissant moyen de synthèse, grâce auquel il a notamment pu fixer l'azote sur les composés organiques. Schoenbein avait découvert l'ozone; l'effluve, obtenu par les moyens dont dispose maintenant la science, permet de produire ce corps industriellement et en abondance; ses applications à la reproduction des parfums artificiels et à la désinfection sont déjà d'ordre pratique.

Enfin l'arc donne naissance aux divers genres de fours électriques; les célèbres recherches de M. Moissan, notamment sur les divers carbures métalliques, sont, ici encore, à l'origine du progrès industriel auquel nous commençons seulement à devoir l'aluminium à bon marché, le carbure de calcium, etc.

Les *piles* ne présentaient, comme dispositions réellement nouvelles, que l'emploi de substances spongieuses pour immobiliser les liquides et en diminuer l'évaporation. C'est ainsi que la pile bloc, dérivée de la pile Leclanché et possédant, comme elle, une lame de zinc et une lame de charbon, garnie de peroxyde de manganèse dépolarisant, contient son liquide dans un bloc de cellulose de noix de coco qui, malgré la forte pression à laquelle elle est soumise, absorbe un volume de dissolution excitatrice sensiblement égal au sien. L'emploi du zinc pur rend l'usure nulle en circuit ouvert, et la décharge est d'une telle régularité qu'après cinquante jours de passage à travers une résistance de 10 ohms la force électro-motrice ne varie que de 1,55 à 1,1.

Une intéressante modification de forme des piles Daniell est due à M. Jeanty; l'électrode positive y est sous forme de rigoles parallèles alternant avec des barres de zinc; le cuivre électrolytique, qui s'y dépose, est facilement recueilli et le kilowatt-heure ne reviendrait guère qu'à 1 fr. 50, ce qui abaisserait le prix de la lampe de dix bougies à environ 5 centimes.

Nous ne citons que pour mémoire les piles de Lalande et Chaperon à oxyde de cuivre et dissolution de potasse, présentant une très faible résistance intérieure et susceptibles d'un grand débit, les piles au bichromate, celles au mercure de M. Radiguet pour l'usage médical.

Les *accumulateurs* ont aujourd'hui pris la place des piles dans un grand nombre d'applications scientifiques et industrielles; malgré leur poids encore considérable, leur fragilité relative et les inconvénients notoires de leur emploi, ils servent sur une grande échelle de volants et de régulateurs, dans les stations électriques à débit intermittent, et de source d'électricité, dans de nombreuses applications à la traction des tramways et des automobiles.

Il est curieux de remarquer combien ici le progrès est lent, malgré le stimulant des nécessités industrielles et la certitude des applications pour ainsi dire indéfinies, dont bénéficierait un accumulateur léger, résistant et susceptible de décharges rapides et variées.

On sait que l'origine des courants secondaires a été recherchée dans la polarisation des électrodes, qu'il est nécessaire de combattre dans les piles; en 1859, Planté avait été frappé de l'intensité des courants secondaires dus à la polarisation du plomb, et de ce fait que leur durée allait croissant avec la quantité de peroxyde formée au pôle positif; d'où l'idée de la formation par charges et décharges successives; le plomb devient spongieux; la force électro-motrice atteint 2,6 volts; elle descend à 2 volts pendant la décharge, qui doit être arrêtée quand on est à 1,8 volts.

C'est pour éviter cette lente et coûteuse formation que M. Faure imagina de constituer, directement, au moins les plaques négatives, d'oxydes rapportés sur des lames de plomb.

La fabrication des accumulateurs qui occupe environ 3.600 ouvriers en France, et dont les produits annuels s'élèvent à 45 millions de francs, est encore tout entière tributaire des inventions de Planté et de Faure.

Parmi les plaques en formation Planté, nous citerons les accumulateurs Blot qui, pour une surface efficace de 1 mètre carré, pèsent 3 kilogrammes; la capacité peut atteindre 10 ampères-heure par kilogramme; au régime de 1 ampère par kilogramme, le rendement est voisin de 0,75 en énergie; à 1/2 ampère, il atteint 0,82. Les éléments mixtes Blot (positif) et Fulmen (négatif) ont donné des résultats satisfaisants au concours d'accumulateurs de l'Automobile-Club, en 1889.

A l'autre extrémité nous trouvons les accumulateurs Fulmen, du type Faure, avec une capacité de 14 à 19 ampères-heure, et un débit spécifique de 3 ampères par kilogramme. Les plaques peuvent supporter 100 décharges au moins avant d'être rebutées; le record de 307 kilomètres, récemment fourni par une voiture Krieger, de Paris à Châtellerault sans rechargement, à une vitesse moyenne de 20 kilomètres, a utilisé ce genre d'accumulateurs.

On doit une mention à un type original, celui des accumulateurs Phénix, dont les électrodes sont de petits cylindres en plomb antimonié de 2 millimètres de diamètre, avec épaulements; on y fait adhérer un cylindre d'oxyde de 6 millimètres, autour duquel on glisse un tube de terre poreuse; ce manchon est lui-même entouré par un fil de plomb noyé dans un enduit de plomb spongieux, retenu par une gaine perforée. La tige centrale sert d'électrode positive; le fil en spirale d'électrode négative. Au régime de 2 ampères, la capacité dépasse 21 ampères-heure au kilogramme et le rendement peut atteindre 86 p. 100.

En général, une plaque négative use plusieurs positives; le dépôt de sulfate de plomb insoluble, qui se produit pendant la décharge, fait tomber la force électro-motrice et tend à détériorer l'accumulateur, si la recharge se fait attendre; en outre, le défaut de porosité suffisante empêche une charge rapide qui peut, par dégagement de gaz, amener la désagrégation de la matière active. On cherche à remplacer l'accumulateur au plomb par des éléments Zinc-oxyde de Cuivre, à électrolyte alcalin; mais ils exigent une charge lente, pratiquée seulement à 54 degrés centigrades, ce qui est peu commode. L'élément Nickel-Fer, d'Edison, utilise un vase en acier; l'oxyde NiO, qui se forme, rappelle le sulfate de plomb; mais il est entièrement insoluble et reste en place, de sorte que la surcharge n'est pas préjudiciable. Enfin l'élément Argent-Cadmium a pour seul inconvénient le prix des métaux et la petite solubilité des oxydes d'argent dans l'électrolyte alcalin; la décharge complète est possible sans inconvénient, et une batterie contenant 31 kilogrammes d'argent équivaudrait à une batterie au plomb de 250 kilogrammes[1].

[1] A. L. Marsh, *Electrical World*, 13 septembre 1902.

Nous renvoyons le lecteur au chapitre afférent à la Classe 86 (Industries chimiques), pour ce qui a trait aux autres applications industrielles de l'électro-chimie. Cependant il nous paraît utile de résumer[1] en quelques mots l'état actuel de la production électro-chimique condensée au voisinage des chutes du Niagara ; elle donne une notion des services rendus par cette nouvelle branche de l'industrie : l'aluminium, tributaire du procédé Hall, absorbe 10.000 chevaux ; le carborundum est fabriqué au Niagara par son propre inventeur, Acheson. Le sodium, la soude électrolytique et le chlorure de chaux sont produits au moyen du procédé Castner ; une partie du sodium est transformée en cyanure et en peroxyde. Le chlorate de potassium est obtenu, sur une vaste échelle, par l'électrolyse du chlorure de potassium, procédé Gibbs et Franchot. L'arc électrique fournit du phosphore dans l'usine de la Oldburg-electro-chemical C°. L'Union-Carbid C° produit 10.000 tonnes de carbure de calcium par mois. La Wilson-Aluminium C° vend par mois 120 tonnes de fer chromé à 10 p. 100 de chrome ; elle fournit aussi du ferro-titane, du ferro-silicium et du silicium. Le siliciure de cuivre à 10 p. 100 de silicium, qui sert à l'épuration du cuivre, est aussi un produit des fours électriques.

Classe 25.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Comme le dit M. Paul Janet, rapporteur de la Classe 25, c'est un véritable traité didactique sur l'éclairage électrique, contenant un grand nombre de documents expérimentaux inédits, qu'il présente au public, avec la collaboration de MM. Laporte et Léonard, et grâce aux puissants moyens de recherches et de mesures précises, dont disposent le Laboratoire central et l'École supérieure d'électricité.

Nous renvoyons le lecteur à ce que nous disons, Classe 27, des **compteurs d'énergie**, recueillant seulement l'avis du rapporteur sur

[1] *Génie civil*, XL, 334, 15 mars 1902.

l'emploi pratique de ces appareils, qui peuvent désormais fonctionner avec une approximation de 2 à 3 p. 100 et sont en somme peu coûteux et d'un entretien économique; actuellement, ils se rangent presque tous dans la classe des compteurs moteurs, dont le type le plus répandu est le compteur Thomson (analogue au compteur Desroziers de 1889), et dans celle des compteurs oscillants (compteurs Aron, de l'Allg. Elek. Gesellsch.); leur consommation à vide, qui ne dépasse guère un maximum de 3,5 watts, ne peut être une cause de gêne que si la canalisation est chargée au maximum.

Les **lampes à arc** utilisent toujours des crayons en charbon, qu'un mécanisme varié maintient à bonne distance; ce mécanisme n'intervient que pour assurer la fixité de la lumière et n'a rien à faire avec la consommation d'énergie. Cependant quelques essais nouveaux ont tenté (Bremer) de dégager la partie de l'arc qui est inutilement engagée dans le cratère du charbon positif (courants continus) ou des deux charbons (courants alternatifs).

Avant d'aborder l'étude des connexions pratiques des lampes à arc avec les courants habituels des stations électriques, qui alimentent surtout des lampes à incandescence à la tension de 110 volts, M. Janet rappelle les études théoriques auxquelles a donné lieu l'*arc :* étant donnée une paire de charbons, il existe une relation entre la longueur de l'arc, l'intensité et la tension du courant; cette relation n'est pas celle d'Ohm; car la résistance diminue avec l'intensité; d'après les recherches de Me Ayrton, l'arc silencieux (non sifflant) peut, dans une première approximation, s'accommoder d'une relation linéaire entre la différence de potentiel aux charbons et la fraction longueur divisée par intensité; le terme constant de cette relation linéaire s'applique à la chute de potentiel qui se produit dans les charbons (courants alternatifs), principalement dans le charbon positif (courants continus); on combat efficacement cette diminution en se servant de charbons à âme ou mèche saline, riche en silicate de potasse, et c'est là le principal progrès que la fabrication des charbons a réalisé depuis 1889.

M. Blondel a étudié empiriquement, en 1897, la relation qui lie

le flux lumineux à deux des trois variables précédentes; il a choisi les plus faciles à mesurer : la tension et l'intensité du courant dans l'arc. Quand l'intensité reste constante, le flux passe par un maximum entre 50 et 55 volts. Quant au rendement, rapport du flux au nombre de watts dépensés, son maximum suppose une tension un peu plus faible, environ 45 volts. Toutes choses égales, le rendement s'élève rapidement quand le diamètre des charbons diminue; en effet, l'arc est plus fixe, les surfaces incandescentes se déplacent peu, le cratère est aussi plat que possible. Quand l'intensité croît à tension constante, le flux et le rendement croissent très vite.

Ces diverses conclusions ont été en somme confirmées par les recherches de M. Janet, qui en a seulement précisé la portée : les maxima ont été un peu abaissés, celui du flux à 50 volts, celui du rendement vers 41 volts; les courbes du flux en fonction de l'intensité et de la tension ont été mises sous la forme commode d'une surface à plans cotés, les sections par des plans horizontaux équidistants représentant la courbe des intensités et des tensions pour un flux lumineux constant. On voit ainsi que, pour une puissance donnée, le maximum de flux lumineux suppose une tension petite, de 25 à 40 volts.

M. Janet nous donne aussi des courbes précieuses d'usure des principaux charbons exposés, toujours en fonction des mêmes variables indépendantes, intensité du courant de l'arc, différence de potentiel aux charbons; il a mis en évidence que, pour une intensité donnée, l'usure du charbon positif (courants continus) reste presque constante de 30 à 45 volts, puis croît rapidement, tandis que celle du charbon négatif est régulièrement croissante avec la tension. Pour une tension constante de 40 volts, l'usure croît pour les deux charbons avec l'intensité, mais l'accroissement se fait plus vite pour le charbon positif. Enfin la déduction théorique des courbes d'égale usure des deux charbons donne, pour une intensité de 4 à 9 ampères, une droite verticale correspondant à une tension sensiblement constante de 40 volts; cette droite se continue par une branche s'infléchissant vers le voltage croissant et, pour 12 ampères, elle correspond à 44 volts.

La diminution de diamètre des charbons, à intensité constante, augmente rapidement le flux lumineux et le rendement; pour des différences de 30 à 33 p. 100 du diamètre, il y a variation de 10 à 20 p. 100 du flux. À densité de courant égale, le rendement est maximum avec les plus gros charbons; il y a donc intérêt à diminuer le plus possible le nombre des foyers.

M. Janet nous donne le résultat de l'étude des divers *charbons* exposés; leur qualité influe sur le rendement dans une proportion qui atteint jusqu'à 30 p. 100. On sait que, plus ils sont riches en noir de fumée, plus leur qualité est supérieure. Ils contiennent du charbon de cornue, du coke de pétrole, du silicate de soude; le tout est broyé au pilon, pulvérisé et mélangé dans des cylindres d'acier, passé à l'électro-aimant pour être débarrassé des particules ferreuses. On rend le mélange plastique au moyen d'un peu de goudron, puis on le tréfile à chaud sous une presse hydraulique développant de 200 à 11.000 kilogrammes de pression; l'orifice est annulaire ou étoilé pour les charbons à mèche; cette âme ou cette mèche, introduite après coup au moyen d'une vis à pression, est à base de silicate de potasse, le silicate de soude donnant à la flamme une coloration jaune désagréable. Le tout est recuit et la mèche doit brûler régulièrement, sans tomber par fragments.

Le *mécanisme*, qui règle la longueur de l'arc, peut être à moteur, à mouvement d'horlogerie, à freins. Les moteurs, excellents mais trop chers, disparaissent ou sont réservés à des usages scientifiques, phares, etc. Les appareils à frein sont les plus sensibles; ils servent principalement aux arcs en vase clos, dans lesquels le réglage de la longueur de l'arc n'a pas besoin d'être très rigoureux.

Le mécanisme est nécessairement actionné par un *dispositif électrique;* les électro-aimants de réglage ne sont en série avec l'arc que quand on peut compter sur une intensité constante (vase clos). Sinon on recourt à un montage en dérivation et alors le réglage agit sur la tension aux bornes; un simple rhéostat permet ainsi de faire varier la quantité de lumière à obtenir; l'inconvénient est que le dispositif ne maintient pas cette quantité constante; car la bobine s'échauffe à la longue et, surtout, les charbons en s'usant font varier la résistance.

Le montage des *lampes à arc sur les circuits* soulève de délicats problèmes théoriques et pratiques. Le type d'une seule lampe sur une seule machine est réduit à quelques phares; le montage en série sur courant continu ne se fait guère qu'en Amérique. En dérivation sur les courants à 110 volts, on a jusqu'à présent utilisé deux lampes avec un rhéostat; l'Exposition nous réservait deux nouveautés : le montage économique de trois lampes sans rhéostat, à voltage réduit, et celui d'une seule lampe à haut voltage (80 volts) en vase clos.

Quant aux courants alternatifs, ils présentent une grande flexibilité d'emploi : on peut se servir d'appareils Ferranti en série, pour transformer le potentiel constant en intensité constante; on peut, en dérivation, remplacer les résistances par des bobines de réaction; enfin on peut recourir aux transformateurs.

Nous insisterons, avec M. Janet, sur les deux nouveautés signalées plus haut : le montage de trois lampes en dérivation sur courant continu à 110 volts, l'emploi du vase clos. Dans la première solution, l'écueil est que, sous l'influence de la moindre résistance accidentelle, le courant tend à prendre une intensité dangereuse; pour éviter l'inconvénient, on adjoint aux trois lampes (Hegner) un rhéostat normalement en court circuit, mais qui intervient quand l'intensité augmente brusquement; on peut encore (Vigreux et Brillié) se servir d'un mécanisme qui allonge l'arc démesurément quand l'intensité s'exagère; le dispositif repose sur l'emploi d'un enroulement-série, très énergique mais très amorti pour éviter les oscillations; le rapprochement, au contraire, se fait librement.

Grâce à l'amélioration des âmes des charbons positifs, le montage en dérivation de trois arcs, qui était jugé onéreux par M. Blondel en 1897, peut procurer, d'après M. Janet, une économie de près de moitié.

Le vase clos économise l'usure des charbons et, par suite, la main-d'œuvre; il est plutôt coûteux au point de vue du rendement; néanmoins il se répand en Amérique. L'inconvénient gît dans le dépôt rapide de charbon sur le verre; on l'a beaucoup atténué en élevant considérablement l'écart des charbons et par suite la tension (80 volts) et en laissant rentrer, par des orifices appropriés, un peu d'air qui

brûle la vapeur de charbon dans l'arc, mais laisse intacts les charbons eux-mêmes (Marks, 1896). La répartition moyenne de la lumière est très régulière; l'usure des charbons est quarante fois moins rapide.

Il nous reste à signaler la lampe Bremer, dans laquelle l'arc jaillit entre deux charbons à peine inclinés, presque parallèles, dans un champ magnétique qui tend à l'allonger; cet allongement change de forme quand les charbons s'usent, et l'arc est plus tendu; puis les charbons descendent et sont rétablis dans leur position primitive; leur composition chimique est très complexe; d'après M. Janet, ils donnent une flamme riche en rayons jaunes et rouges, et déposent de la chaux et de la magnésie sur l'abat-jour conique qui les entoure; l'arc est très long à cause des vapeurs métalliques qui le rendent plus conducteur. Le rendement serait presque deux fois supérieur à celui des lampes ordinaires; mais l'arc est sensible, au moindre courant d'air, et l'emploi d'un globe réduit le flux lumineux d'environ un tiers.

Lampes à incandescence. — En 1889, les six secteurs d'électricité de Paris pouvaient alimenter 45.400 lampes de 10 bougies; en 1900, ils desservent 1.333.000 lampes de cette nature ou leur équivalent; l'accroissement annuel est de 200.000 lampes; le capital engagé monte à 108 millions de francs; la recette brute est de 18 millions de francs au prix moyen de 0 fr. 87 le kilowatt (21 millions de kilowatts).

La fabrication des lampes porte sur 30 millions par an en Europe et presque autant en Amérique. De 3 fr. 75 en 1889, la lampe est graduellement descendue à 0 fr. 50 en 1900; mais la courbe est asymptotique et, si rien ne modifie l'état actuel, il est à prévoir que les réductions à venir seront minimes.

Les progrès sont donc frappants et auraient eu à Paris un retentissement encore plus marqué, si les concessions à brève échéance n'avaient pas rendu très onéreux l'amortissement du matériel de premier établissement. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Janet, ils sont un simple développement de ce que nous savions déjà en 1889; seule la lampe Nernst constitue une nouveauté dans le sens strict du mot.

Bien que les procédés de fabrication des lampes à incandescence soient en partie tenus secrets, on sait qu'ils se sont notablement uniformisés dans ces dernières années : le filament est composé de cellulose pure, dissoute dans l'éther ou le chlorure de zinc, et tréfilée à l'état de fil blanc soyeux, en tout analogue à certaines soies artificielles. On enroule ce fil sur des bâtons de charbon et on le calcine à l'abri de l'air, à haute température.

Les fils métalliques sur lesquels sont montés, d'une part le filament, d'autre part le culot, sont en trois parties : nickel, platine, cuivre. Le nickel aplati, puis tourné en cornet, reçoit le filament, qui est fixé au moyen d'un dépôt de charbon, provenant de la décomposition électrolytique d'un carbure. Le platine est le seul métal possédant à peu près la même dilatation que le verre et se soudant à lui; on l'enfile dans un tube en forme de collerette, du côté de la future ampoule, et qu'on pince de l'autre côté à chaud sur le métal. Enfin le bout extérieur des fils est en cuivre et vient se souder sur les contacts du culot, à vis ou à baïonnette.

Avant d'appliquer l'ampoule, on carbure le filament en le portant au rouge, au moyen d'un courant, dans une atmosphère carburée. Le carbone superficiel, ainsi déposé, subit une modification assez rapide qui explique le grand éclat des lampes neuves. L'ampoule de verre, qu'on soude ensuite sur la collerette, porte en haut un petit tube par lequel on fait le vide, pendant qu'on rougit le filament. On ferme par un coup de chalumeau et on étalonne les lampes, en déterminant le flux lumineux, pour une insensité et une différence de potentiel données.

L'Exposition nous montrait une variante intéressante de ce mode d'opérer : au lieu d'employer les pompes à mercure dont l'usage est toujours coûteux, M. Pulsford recourait aux pompes ordinaires et au vide chimique (Batignani); on fait le vide sur des vapeurs d'éther; puis on introduit un peu de phosphore rouge qu'on chauffe à la lampe à gaz; on juge du vide au moyen de l'effluve bleuâtre que produit à un moment donné le passage du courant; quand cet effluve disparaît brusquement, l'opération est terminée.

On fabrique des lampes à 220 volts, avec un ou deux filaments en série; on en fabrique aussi pour 20 à 25 volts qui servent à éclairer,

par accumulateurs, les wagons de chemins de fer; d'après M. Weissman, inventeur de petits transformateurs destinés à vulgariser l'emploi de lampes à faible tension, elles peuvent être économiquement beaucoup plus poussées que les lampes à filaments plus fins.

D'après les données du laboratoire central, les lampes à incandescence de 110 volts consomment en moyenne 3 watts 85 par bougie et durent plus de 500 heures, avant une diminution de 25 p. 100 de leur flux lumineux.

La *lampe Nernst* utilise l'incandescence dans l'air, au moyen d'un filament à base de magnésie, mauvais conducteur à froid et qu'il faut chauffer, pour que le courant puisse passer et le rendre incandescent. D'où deux modèles, l'un qu'on chauffe directement et qui tend son filament en forme de fer à cheval à portée de la main, l'autre dont le filament est rectiligne et entouré d'une spirale, composée d'une hélice en matière mauvaise conductrice, sur laquelle est enroulé un fil métallique très fin. A froid, un électro-aimant dirige le courant dans cette spirale qui chauffe par rayonnement le filament; quand celui-ci est devenu suffisamment conducteur, le courant y passe et l'électro-aimant désamorce la spirale.

Les deux modèles de lampes Nernst possèdent, en série dans le circuit du filament, une résistance cachée dans le socle et composée d'un fil de fer enroulé sur un tube de verre et enfermé dans une ampoule hermétique. Cette résistance est telle que, de 225 à 240 volts, l'intensité, passant par le filament, varie au maximum de 6 p. 100; le rhéostat n'absorbe que 5 à 6 p. 100 de la puissance à la tension normale de 220 volts; il en consomme 8 à 9 à 230 volts, et 12 à 13 à 240 volts.

Les lampes sans appareil de self-allumage, annoncées pour 220 volts, 40 watts, 25 bougies, ont donné à M. Janet une moyenne de 220 volts, 41 watts, 23.6 bougies décimales, soit 1.74 watt par bougie, c'est-à-dire moins de la moitié de la consommation des lampes à incandescence ordinaires. Par contre, au bout de 170 heures, le flux lumineux a subi une réduction de 25 p. 100.

Les résultats, relatifs aux lampes à allumage automatique, sont analogues : une lampe neuve, alimentée par un courant de 220 volts et

IMPRIMERIE NATIONALE.

d'une puissance de 38 watts, a donné 25 bougies, 7 avec une dépense spécifique de 1,48 watt par bougie; après 120 heures de fonctionnement, la lampe avait perdu 24 p. 100 de son intensité lumineuse et fonctionnait avec une dépense spécifique de 1,94 watt par bougie. L'allumage se fait en 17 secondes, à 220 volts, lorsque la lampe est dirigée de haut en bas; il faut 3 minutes, c'est-à-dire dix fois plus de temps, lorsqu'elle est dirigée de bas en haut.

L'*appareillage* a bénéficié des recherches récentes sur les métaux à propriétés spéciales, tels que les alliages de nickel, et des progrès réalisés dans les contacts au charbon. M. Janet entre dans quelques détails sur les dispositions relatives aux réducteurs automatiques pour accumulateurs, et sur les jeux d'orgue pour théâtre, qui supposent tous un groupement et un maniement facile des rhéostats, soit par transmission mécanique, soit par servo-moteur électrique.

Nous aurons terminé cette revue sommaire d'une des branches les plus intéressantes de l'industrie électrique, quand nous aurons fait ressortir les services éminents que le Laboratoire central d'électricité, dirigé par M. Janet, sous le haut patronage de M. Mascart, rend au public et aux constructeurs; plus que jamais l'industrie électrique a besoin d'étalonnages précis et consciencieux; on a vu, au cours de cette analyse, quel contrôle clairvoyant et précieux ce laboratoire a fourni au Jury de la Classe 25 et à son distingué rapporteur.

Quant aux perspectives d'avenir qui s'ouvrent à l'éclairage électrique, elles sont faciles à résumer : à prix égal ou même un peu supérieur, ce mode de production de la lumière est plus commode, plus agréable, plus hygiénique que tous les autres; il les détrônera donc sans conteste, quand les prix de revient se seront suffisamment abaissés. Ici, deux éléments interviennent, d'abord l'élément pour ainsi dire humain : les exigences du fisc et des municipalités, les contrats qui les lient souvent aux compagnies du gaz. Puis vient l'élément technique, prix du combustible ou de la force motrice, progrès dans la fabrication du courant électrique et surtout dans la façon de l'utiliser, une fois produit. Nous avons vu ce progrès se manifester par l'abaissement extraordinaire du prix de revient des lampes à incan-

descence, par la meilleure fabrication des charbons des lampes à arc, désormais pourvus d'âmes salines conductrices, par l'amélioration connexe des groupements économiques de trois lampes à arc en dérivation sur les courants continus à 110 volts, enfin par l'invention des lampes à arc Bremer, à incandescence Nernst. Dans ces trois derniers cas, l'économie de consommation du courant atteint ou dépasse 100 p. 100; il ne nous paraît pas douteux que les inconvénients de détail seront surmontés à brève échéance.

Mais, au point de vue théorique, toutes ces sources de lumière consomment en pure perte une puissance énorme, transformée inutilement en chaleur rayonnante obscure, etc. Les phénomènes de phosphorence, de fluorescence, les corps radiants, et notamment cet étonnant radium découvert par M. Curie, seront tôt ou tard utilisés pour nous éclairer économiquement et détrôneront à leur tour la lumière pourtant si agréable des lampes à incandescence.

Classe 26.

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE.

Dans un rapport substantiel, M. Seligmann-Lui a passé succinctement en revue les progrès réalisés par le matériel des lignes, les appareils télégraphiques et ceux qui ont trait à la téléphonie.

L'emploi de fils de cuivre de haute conductibilité, l'augmentation des calibres pour réduire les résistances des lignes, l'isolement plus parfait de ces dernières, soit par les supports des lignes aériennes, soit par les isolants des lignes souterraines, tels sont les progrès ayant trait au matériel des lignes.

Actuellement, on extrait la gutta-percha non seulement du suc coagulé, provenant des incisions de l'*Isonandra Gutta*, mais d'un traitement approprié des feuilles même sèches de cet arbre, qu'il n'est dès lors plus besoin de sacrifier (Seligmann-Lui, Sérullas, Jungfleisch). On peut l'exploiter dès qu'il est en buisson et il y a lieu d'espérer que la gutta deviendra désormais moins rare et moins coûteuse.

Malgré ses précieuses propriétés isolantes, la gutta convient mal à la téléphonie, à cause de son pouvoir inducteur spécifique trop élevé;

M. l'ingénieur Barbarat a eu l'ingénieuse idée de supprimer toute obturation des tubes de plomb aux deux bouts d'une ligne, laissant pour ainsi dire flotter les conducteurs inclus, simplement isolés entre eux, enveloppés par exemple d'un double ruban de papier. Le passage suffisamment prolongé d'un courant d'air sec établit un isolement satisfaisant avec une très faible capacité électrostatique et, dès à présent, cet isolement est préféré à tous les autres pour les lignes téléphoniques urbaines.

Les **appareils télégraphiques** modernes tendent tous à débiter le plus grand nombre de lettres possible, en s'adaptant aux combinaisons à nombreuses communications simultanées, soit dans le même sens, soit en sens inverse. On préfère les appareils imprimeurs.

Parmi les anciens appareils encore en usage, on peut citer le Morse avec 750 mots à l'heure au maximum, le Hugues imprimeur, permettant d'atteindre 2.000 mots.

Le Wheatstone, à composition préalable, utilise automatiquement l'alphabet Morse; il est basé sur l'emploi d'une bande de papier préalablement perforé, rappelant les métiers à la Jacquard; le General-Post-Office de Londres est arrivé à transmettre ainsi 7.000 mots à l'heure; on se sert du Wheatstone pour la transmission, avec une seule composition perforée, des débats du Parlement dans toutes les directions.

L'appareil Baudot, très employé en France, est le type des instruments à partage du temps entre divers postes, attelés au même fil : si chaque couple de postes a, par exemple, la disposition de la ligne pendant un quart du temps, on conçoit que l'on puisse utiliser cette ligne comme si elle était quadruple. Le principe de cette ingénieuse multiplication est très simple : chaque extrémité de la ligne comporte un frotteur, animé d'un mouvement circulaire uniforme, synchrone avec son correspondant, sur un disque appelé distributeur, et divisé en autant de secteurs principaux qu'il y a de couples de postes distincts. Mais en outre, chaque secteur est divisé en cinq sous-secteurs dans lesquels le courant passe successivement et peut être renversé au moyen de cinq touches placées sous les doigts de l'agent expéditeur.

Au récepteur, suivant le sens des cinq courants ainsi envoyés, des armatures sont attirées d'un côté ou de l'autre par cinq électro-aimants; ces mouvements sont d'ailleurs suffisants pour actionner par relais les organes d'un appareil imprimeur. Un appareil Baudot à quatre claviers peut imprimer un total de 7.200 mots par heure.

L'appareil Rowland, le premier qui ait utilisé des courants alternatifs industriels à 26 périodes par tour et 200 tours par minute, se compose d'un récepteur, en forme de relais à double armature, qui oscille à la même périodicité que le courant; un petit moteur synchrone permet l'emploi de doubles postes multiples par division du temps comme dans le Baudot. La transmission s'opère au moyen d'un clavier alphabétique, qui procède par suppression de deux demi-périodes non consécutives du courant alternatif. Sans entrer dans plus de détails, ces suppressions peuvent déterminer d'assez nombreuses combinaisons, agissant sur l'électro-récepteur et transformées, par relais et combinateurs, en lettres imprimées; non seulement ces combinaisons. pouvant agir chacune sur un rouage distinct, sont suffisantes pour varier les lettres, mais elles permettent les espacements, les alinéas et l'impression sur une véritable feuille de papier; on arrive ainsi à un débit de 16 à 19.000 mots à l'heure.

Dans les duplex, on se sert d'un autre principe, dont le système Van Rysselberghe est une des applications les plus ingénieuses : on accouple deux séries d'appareils dont les premiers ne sont pas influencés par les mêmes courants que les seconds, et réciproquement; ainsi, par exemple, un seul fil, chargé de transmettre simultanément du continu et de l'alternatif, laisse passer le premier dans une bobine d'induction qui arrête le second, et le second dans un condensateur qui arrête le premier.

C'est dans cette catégorie que rentrent aussi les appareils si élégants, basés sur le télégraphe harmonique d'Elisha Gray, et proposés par MM. Mercadier et Pierquin : des membranes circulaires très rigides, disposées pour ne vibrer que suivant une période de vibrations bien déterminée, servent de récepteur à des courants ondulatoires de fréquence fixe et distribuent ceux de ces courants qui les mettent en mouvement. Comme elles sont insensibles aux autres, on

conçoit qu'elles puissent alimenter chacune un couple de postes; on est arrivé à superposer ainsi vingt-quatre transmissions simultanées, provoquées au départ par des diapasons convenables.

L'appareil Polàk et Viràg[1] est récemment arrivé à transmettre une écriture cursive conventionnelle; un petit miroir est animé de mouvements tels que le rayon lumineux réfléchi trace, sur une bande de papier sensible, l'écriture en question; la bande se développe, se fixe et se sèche au fur et à mesure; le miroir, pouvant osciller suivant deux directions à angle droit, est actionné par des membranes de téléphone dont le déplacement, déterminé par l'intensité des courants transmis, s'obtient, au départ, au moyen d'une bande de papier convenablement troué, comme dans l'appareil Wheatstone. On voit que deux fils sont nécessaires ici; mais le débit est exceptionnel : une ligne d'essai de 400 kilomètres a donné 60.000 mots à l'heure, soit 30.000 par fil.

Les **lignes sous-marines** ont fait peu de progrès pendant la dernière décade; les moindres essais sont tellement coûteux qu'on recule devant les dépenses qu'ils exigent; on a multiplié les communications possibles et diminué leur prix, en autorisant l'emploi de codes ou répertoires, au moyen desquels on peut transmettre des phrases entières, représentées par un nombre ou un mot. On peut amener au maximum l'utilisation d'un câble, au moyen du *Curb-Sender,* basé sur le principe du transmetteur automatique Wheatstone.

Dans une récente notice sur la **télégraphie sans fil,** M. Poincaré[2] a résumé nos connaissances théoriques sur les nouvelles radiations; la lumière herzienne, comme il les appelle, possède la plupart des propriétés de la lumière ordinaire ou de la chaleur rayonnante, mais avec les modifications que comportent ses longueurs d'onde, beaucoup plus grandes que celles des vibrations qui ont une action sur nos yeux; les *excitateurs* de Herz se composent de deux conducteurs très voisins, terminés par deux petites boules et mis en communication avec les

[1] Pinter, *Industrie électrique,* 25 octobre 1900.

[2] *Annuaire du Bureau des longitudes,* année 1902, p. 657, A. 1.

deux pôles du secondaire d'une bobine de Ruhmkorff; la décharge se fait brusquement par étincelle; mais elle n'est pas simple et se compose d'une série oscillatoire, dont la période était, dans les expériences de Herz, d'environ un cinquante-millionième de seconde. Herz a démontré que ces vibrations, qui peuvent avoir quelques centimètres ou quelques mètres de longueur d'onde, se propagent avec la même vitesse que la lumière, dont les propres vibrations ont quelques dix-millièmes de millimètre.

Or, la diffraction, c'est-à-dire la propriété qu'ont les rayons lumineux de contourner un écran pour aller éclairer la partie géométriquement à l'ombre, s'exerce avec une intensité d'autant plus grande que la longueur d'onde est elle-même croissante : en effet, l'onde vibratoire transmise qui, à un moment donné, occupe la surface d'une sphère, dans un milieu isotrope, et dont chaque point peut être considéré comme envoyant à son tour des rayons lumineux, présente, au contact d'un écran, des surfaces, qui n'interfèrent pas entre elles, d'autant plus grandes que la longueur d'onde est elle-même plus grande, propriété précieuse pour contourner la convexité terrestre.

On a donc cherché à augmenter la longueur d'onde des décharges, dans les excitateurs employés pour la télégraphie sans fil; ils se composent actuellement d'une puissante bobine, en communication avec une longue antenne verticale isolée; l'autre branche de l'excitateur est reliée au sol; on a ainsi obtenu des ondes de 100 à 1.000 fois plus longues que celles de Herz, un milliard de fois plus longues que les ondes lumineuses. On remarquera qu'elles sont polarisées verticalement, de telle sorte qu'il y a plus d'énergie rayonnée dans le plan horizontal. C'est de cette façon qu'on a atteint des portées de plus de 300 kilomètres. Tout récemment, M. Marconi a annoncé qu'il est arrivé à communiquer de Terre-Neuve en Irlande, sur une distance de 3.000 kilomètres; il a donc vraisemblablement encore perfectionné les appareils existants.

Quant au cohéreur, on sait qu'il se compose généralement d'une limaille capable de s'oxyder ou de se sulfurer légèrement; celle qu'emploie M. Marconi comprend 96 p. 100 de nickel et 4 p. 100 d'argent. On a constaté, au microscope, qu'au moment du passage de

l'onde herzienne, de petites étincelles rompent la pellicule mauvaise conductrice et établissent un contact momentané.

Une propriété précieuse des ondes herziennes consiste à passer à travers le brouillard dont les vésicules sont beaucoup trop minces pour réfléchir ces ondes, tandis qu'en général elles arrêtent, par réflexions multiples, les rayons lumineux. Par contre, il est facile d'envoyer des rayons lumineux dans une seule direction et même de les concentrer suivant cette direction, tandis que les vibrations herziennes sont difficilement maniables à ce point de vue, précisément à cause de leur diffraction trop aisée; on peut donc les recueillir dans des sens divers et surtout elles peuvent se contrarier mutuellement, même si elles divergent d'excitateurs éloignés les uns des autres. Pour combattre cet inconvénient, M. Marconi a essayé un transmetteur, mettant en jeu un phénomène analogue à celui de la résonance en acoustique.

Comme on le voit, le nouveau mode de communication télégraphique permet d'aborder le problème vraiment extraordinaire de la transmission de rayons, analogues aux rayons lumineux, à des milliers de kilomètres de distance; d'une part, la diffraction permet à ces rayons de contourner les obstacles sans difficulté; d'autre part, le cohéreur, qui est chargé de les recevoir et de les déceler, constitue un organe d'une telle sensibilité qu'on peut dès à présent en prévoir des applications qui auraient paru invraisemblables, il y a quelques années. Les dernières expériences, exécutées entre le poste de Paldehn (Cornouailles) et le navire américain *Philadelphia*, ont permis la transmission des signaux à 3.358 kilomètres pendant la nuit; il paraîtrait que l'action du soleil sur les ondes herziennes diminue considérablement leur portée.

Il convient de rappeler que le cohéreur est d'invention française; c'est en 1891 que M. Branly a imaginé ce dispositif, qui permet d'établir le relais de la télégraphie sans fil.

Le **téléphone** se développe extraordinairement. C'est un des grands bienfaits dont la science ait doté l'humanité à la fin du XIX[e] siècle. En 1889, on comptait environ 340.000 abonnés au téléphone dans le

monde entier; actuellement ils ont quadruplé et chaque poste sert à de nombreux clients. Les microphones à crayons sont supplantés par les transmetteurs à poudre ou à granules d'un charbon spécial (Maison Berne, Société Le Carbone). Comme le prix du personnel est un des facteurs importants dans l'exploitation des lignes téléphoniques, les inventeurs se sont ingéniés à simplifier la manipulation et à condenser, dans un seul tableau ou section de multiple, jusqu'à 14.000 lignes (Siemens et Halske). On a même tenté d'établir des appareils automatiques; mais ils ne peuvent s'appliquer facilement qu'à 999 abonnés au maximum.

Le **télégraphone** Poulsen, sorte de phonographe qui enregistre les vibrations sonores en fixant les variations de champ magnétique qu'elles engendrent dans un fil ou un ruban d'acier, peut servir de récepteur téléphonique. Dès lors, comme dans le phonographe, et par inversion des phénomènes, le fil influencé, passant entre les pôles d'un électro-aimant semblable à celui qui a servi à l'enregistrement, restitue la parole et les sons avec une pureté incomparable; il peut même servir à amplifier les sons transmis, en permettant d'accoupler une série d'enregistrements identiques.

En résumé, nous assistons au développement extraordinaire de tous les moyens d'échange de la pensée et même de la voix humaine à distance; les appareils télégraphiques se modifient ingénieusement pour arriver à un maximum inespéré de débit de chaque ligne. Le téléphone se répand de plus en plus, se perfectionne, même à grande distance, et son prix ne tardera pas à le mettre à la portée de tout le monde. Une ingénieuse modification du phonographe, le télégraphone, permet d'enregistrer les communications téléphoniques; on peut prévoir qu'il servira de relais aux communications à très grande distance. Enfin, l'invention de la télégraphie sans fil couronne avec éclat les progrès accomplis durant les dix dernières années, par la transmission à des distances prestigieuses de la *lumière herzienne*, jouissant de la propriété de contourner l'écran que forme la rotondité terrestre.

Classe 27.

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ.

M. Chaperon, rapporteur de la Classe 27, a décrit un grand nombre des appareils de mesure exposés en 1900; plusieurs d'entre eux sont nouveaux et ont été créés pour répondre à des nécessités industrielles qui n'existaient pas en 1889. Tels sont, par exemple, les phasemètres, les oscillographes, les rhéographes, les perméamètres, etc.

Mesure des intensités. — Les appareils industriels se ramènent à deux types principaux représentés, pour les courants continus, par le galvanomètre apériodique Deprez-d'Arsonval, à aimant fixe et cadre mobile, et, pour les alternatifs, par le système dit *thermique*, dont MM. Hartmann et Braun ont réalisé des types très apériodiques.

L'intensité des courants alternatifs peut encore être mesurée par des ampèremètres à électro-aimant (Deprez-d'Arsonval), à induction (type AEG), à champs tournants (Siemens et Halske).

Enfin la mesure indirecte des intensités est tributaire des millivoltmètres, dans lesquels on utilise la chute de tension produite par le passage du courant dans une faible résistance (shunt); un calcul très simple montre qu'en employant un galvanomètre qui mesure la perte de charge aux bornes du shunt, on obtient très sensiblement une lecture proportionnelle à l'intensité du courant principal; suivant le genre de galvanomètre employé, la méthode s'applique au continu ou à l'alternatif et se prête à l'enregistrement.

Mesure des tensions. — Les appareils les plus répandus sont les électromètres, dans lesquels on lit les effets produits par une différence de potentiel établie aux bornes d'un condensateur de capacité variable; les charges tendent à rendre la capacité la plus grande possible et produisent ainsi des mouvement mensurables.

Du reste, la plupart des ampèremètres peuvent, comme l'on sait, se transformer en voltmètres, et le seul principe nouveau que l'Exposition nous ait montré, à ce point de vue, est celui de M. Arno, qui s'est servi de la polarisation des diélectriques et utilise le mouvement

que prend un disque de papier paraffiné, entraîné par un champ tournant et retenu par un couple antagoniste.

Résistances. — A côté des boîtes étalonnées de résistance à fils de maillechort, l'Institut de Charlottenburg a exposé une nouveauté intéressante, concernant les résistances très élevées (Megohms); il s'agit de tubes de porcelaine, sur lesquels est déposée une hélice excessivement mince et très adhérente d'or-platine (Kundt).

Potentiomètres. — Ces appareils, utilisant les piles-étalons, commencent à se répandre dans l'industrie; ils sont basés sur une méthode d'opposition, susceptible de plus de précision que les instruments usuels, tant pour les résistances que pour les intensités et les tensions; ils servent exclusivement jusqu'ici aux courants continus.

Wattmètres. — La mesure des puissances s'effectue dans des appareils, basés sur le déplacement d'un cadre mobile, donnant un champ proportionnel à la tension, devant une bobine traversée par le courant principal et dont le champ est proportionnel à l'intensité. Des dispositions nouvelles rendent négligeable, pour les courants alternatifs, la self-induction des divers enroulements (Frager).

Oscillographes et rhéographes. — Destinés à étudier les courbes des courants alternatifs, ces appareils se composent d'un moteur synchrone, faisant osciller un miroir qui donnera l'abcisse du temps, et d'un galvanomètre à miroir oscillant suivant un axe perpendiculaire au précédent, dont la déviation doit donner à chaque instant une ordonnée proportionnelle à l'intensité du courant.

Dans les oscillographes (Blondel), on utilise un galvanomètre dont la déviation est à chaque instant proportionnelle à l'intensité du courant étudié; il faut donc que la période d'oscillation de l'appareil soit très courte, négligeable par rapport à celle des courants alternatifs étudiés.

Dans les rhéographes (Abraham), on part au contraire d'un galvanomètre doué d'une période d'oscillation assez longue pour que celle du courant à l'étude soit négligeable. Mais ce n'est plus ce courant que l'on fait passer dans le galvanomètre, c'est un courant auxiliaire, tel que son intensité rende à chaque instant la déviation proportionnelle à l'intensité du courant étudié. L'équation générale,

donnant l'angle de déviation des galvanomètres, contient, au premier degré, cet angle et ses deux premières dérivées par rapport au temps. M. Abraham envoie dans son appareil un courant complexe, composé du courant à étudier et de ses deux premières dérivées par rapport au temps, obtenues au moyen de bobines d'induction; en observant d'abord un courant de forme connue, on détermine par tâtonnement les constantes nécessaires à l'identification des deux équations, et l'on obtient le résultat cherché : la déviation est à chaque instant proportionnelle à l'intensité à étudier. Au moyen du rhéographe, construit par M. Carpentier, on peut étudier dans tous leurs détails les harmoniques des courants alternatifs et même les décharges oscillantes des résonnateurs de Herz.

Ondographes. — Les appareils précédents, si ingénieux qu'ils soient, sont restés confinés dans les laboratoires; tout récemment, M. Hospitalier est parvenu à réaliser un enregistreur susceptible de tracer industriellement les courbes d'intensité, de force électro-motrice et de puissance des courants alternatifs. Il utilise la méthode du conjoncteur tournant de M. Joubert, qui consiste à envoyer dans un galvanomètre le courant à étudier, seulement à un moment donné, par chaque période. Le moment qui suit est donné par la période suivante, et ainsi de suite; la courbe est donc construite, en somme, point par point, seulement, ici, le conjoncteur avance ou retarde à chaque tour d'une assez minime quantité sur la génératrice pour que le tracé soit continu. Un petit moteur synchrone commande, par engrenages, le conjoncteur et le tambour enregistreur; pour la mesure des puissances, le galvanomètre est remplacé par un wattmètre.

Perméamètres. — Ils comparent la perméabilité d'un échantillon de métal à essayer, à celle d'un type étudié par les méthodes de laboratoire; les uns sont basés sur la déviation d'une aiguille aimantée, les autres sur la variation de résistance d'une spirale de bismuth.

Hystérésimètres. — On compare les pertes par hystérésis de l'échantillon de métal proposé, à celles d'un type étudié par la méthode balistique. Dans l'appareil Blondel-Carpentier, un aimant rotatif entraîne le paquet de tôles à étudier; un ressort antagoniste s'oppose

au mouvement, et l'angle mesuré est proportionnel à l'hystérésis existant dans les induits des dynamos.

Compteurs de quantités. — Ces appareils, qui marquent le nombre d'ampères-heure ou de volts-heure, suivant que le courant est à tension ou à intensité constante, comprennent des compteurs pendulaires (Aron, Blondlot, etc.), et de véritables petites machines électriques, magnétos ou dynamos, parmi lesquelles se range le volt-heuremètre O. Keenan, qui a reçu de nombreuses applications durant ces dernières années. Il est très sensible, les frottements y sont réduits au minimum, et les parties mobiles sont dépourvues de fer pour éviter les courants de Foucault. C'est, en somme, une petite magnéto à induit résistant, à balais en argent, que l'on place en dérivation sur un shunt, comme les millivoltmètres, de façon à le transformer en un véritable ampèreheuremètre. Il conserve sa précision aux plus faibles charges.

Compteurs d'énergie. — Ils comprennent des petits moteurs; des appareils à moteur de comparairon, tels qu'un pendule; enfin, des compteurs à enregistrement discontinu.

Dans la première classe nous trouvons le compteur Thomson, dans lequel le couple moteur, proportionnel à la puissance, est combattu par un couple résistant proportionnel à la vitesse (courants de Foucault). Les frottements, négligeables pour les grandes charges, deviennent relativement importants aux faibles vitesses, mais surtout, ces appareils absorbent une puissance constante qui n'est pas négligeable pour les petites consommations.

L'application aux courants alternatifs, sous forme de moteur à collecteur, a nécessité un dispositif nouveau (Frager); on a mis une spire en court circuit dans le champ inducteur; il s'y produit des courants de Foucault qui décalent le champ dû à la bobine à gros fil, et le mettent en phase avec le courant circulant dans le fil fin du compteur.

Les compteurs à champ tournant, destinés à mesurer les courants alternatifs, sont, d'après M. Janet, les plus nouveaux que l'Exposition nous ait révélés; ici, comme pour le transport de l'électricité, nous trouvons, en tête des progrès de l'électrotechnique, les fécondes ap-

plications de ce principe des champs tournants, encore ignorés en 1889, et il se vérifie ainsi que l'histoire des instruments de mesure, et notamment des compteurs et des enregistreurs, marche parallèlement à celle des grandes réceptrices.

Le principe de ces compteurs repose sur la composition de deux champs alternatifs rectangulaires, alimentés par le courant principal d'une part et par une dérivation d'autre part, comme pour les wattmètres. Sans entrer dans le détail de leur théorie, ils communiquent à un mobile, capable de tourner autour d'un axe perpendiculaire aux deux composantes du champ tournant, une vitesse proportionnelle à la puissance à intégrer; d'ailleurs, la constante dépend de la fréquence et de la forme de l'ondulation (Blathy, Hummel, Raab).

Parmi les compteurs à moteur de comparaison, l'Exposition présentait de nombreux modèles du système Aron, à pendule, qui existait déjà en 1889.

Les compteurs à enregistrement discontinu, qui paraissaient les plus perfectionnés en 1889, ont perdu la faveur à cause de leur complication. Cependant, le système Brown et Routin mérite une mention spéciale, parce qu'il s'applique remarquablement bien à l'enregistrement de l'énergie, suivant un tarif aussi varié qu'on le désire, la variation étant commandée par la station génératrice. Le principe de cet appareil est le suivant : le wattmètre agit sur une came à rayon variable, proportionnel à chaque instant à la puissance. Cette came limite la course d'un levier à rochet dont l'oscillation commande les roues du compteur et est déterminée, à intervalles variables, par une émission de courant à la disposition de la station génératrice. Pour en faire varier la fréquence à volonté, cette station envoie, dans le même fil que le courant principal, un petit courant auxiliaire, alternatif quand le principal est continu, et inversement. Quand le courant auxiliaire est alternatif, la mise à la terre se fait, après passage dans le mouvement d'horlogerie, par l'intermédiaire d'un condensateur qui arrête le courant continu principal. Si ce dernier est au contraire alternatif, la mise à la terre du courant auxiliaire continu se fait par l'intermédiaire d'une bobine de self-induction convenable, arrêtant le courant principal.

Compteurs spéciaux au triphasé. — On peut appliquer aux courants triphasés la méthode des deux wattmètres et construire des compteurs Thomson à deux induits; pour simplifier les appareils on a cherché à leur appliquer le principe des champs tournants (modèle F. U. de l'A. E. G.), en utilisant le décalage déjà existant dans les courants à mesurer.

M. le docteur Borgonié a rendu compte, dans le rapport afférent à la Classe 27, des applications de l'électricité à l'art de guérir; il distingue, à juste titre, l'électrothérapie dans laquelle le corps humain se comporte comme un conducteur, des applications indirectes telles que le galvanocautère, l'emploi de l'ozone, l'utilisation des rayons Roentgen.

La source d'électricité peut être à bas potentiel, telle que les piles Gaiffe ou Chardin à bisulfate de mercure, la pile au bichromate à un seul liquide, les accumulateurs. Leur courant est transformé fréquemment dans les appareils à courant faradique, tels que la bobine de Ruhmkorff.

M. d'Arsonval a introduit dans la thérapeutique l'usage des courants alternatifs sinusoïdaux ou ondulatoires; ces derniers peuvent être obtenus en superposant un courant continu à un alternatif.

Les machines, dites *statiques*, de Wimshurst (perfectionnées par MM. Bonetti, Ducretet, Gaiffe, Boulade), ont atteint de grandes dimensions et, mécaniquement actionnées, elles sont désormais en concurrence avec les bobines de Ruhmkorff, pour l'excitation des tubes à rayons X.

Enfin, M. d'Arsonval a récemment étudié et appliqué à la thérapeutique les courants de haute fréquence; l'Exposition présentait divers types de réalisation de ces courants, principalement basés sur l'emploi de bobines avec trembleur rotatif, condensateur et résonnateur, ou encore d'un courant alternatif passant dans un transformateur capable de le porter à 15.000 volts, puis venant charger des condensateurs au pétrole, dont la décharge est assurée par des exploseurs rotatifs.

C'est un appareil de ce genre, convenablement modifié, qui a doté

le palais de l'électricité d'une étincelle de 2 m. 10 de longueur, jaillissant entre les mains du génie qui le dominait.

M. d'Arsonval utilise les courants de haute fréquence, par l'intermédiaire de grands solénoïdes, dans lesquels les malades peuvent se tenir debout, assis ou même rester couchés (autoconduction).

Tous ces ingénieux appareils ont été réalisés par MM. Gaiffe, Ducretet, Radiguet, Bonetti, et sont accompagnés de délicats appareils de mesure, de graduation et de commutation; leur application à la médecine a reçu, à juste titre, le nom de d'arsonvalisation, à côté des appareils de galvanisation et de faradisation.

Les **applications indirectes** de l'électricité à l'art de guérir ont profité, depuis 1889, d'une découverte géniale, celle des rayons X, par Roentgen (1895). On sait que leur emploi comporte actuellement l'utilisation de bobines de Ruhmkorff, d'interrupteurs spéciaux, de tubes de Crookes et, enfin, de supports et d'écrans fluorescents.

Les interrupteurs ont exercé l'ingéniosité des inventeurs : on connaît depuis longtemps ceux à mercure, genre Foucault; l'Exposition nous en montrait divers types perfectionnés, capables de lutter avec les interrupteurs à mercure et isolant liquide, à moteurs rotatifs. D'autres, fort ingénieux, dits *à turbine,* sont basés sur l'emploi d'un jet de mercure et doués d'une marche silencieuse permettant de faire varier, dans de grandes limites, le nombre des interruptions. Enfin, les interrupteurs électrolytiques, inventés par Wehnelt, et reposant sur le principe d'une gaine isolante de gaz, produite instantanément au sein d'un électrolyte, s'échappant et remplacée par le liquide, permettent l'augmentation considérable du nombre des interruptions. Par contre, ils consomment de l'énergie et sont sujets à des variations accidentelles.

On sait que les grandes machines de Wimshurst sont, dès à présent, capables de remplacer la bobine de Ruhmkorff pour la production des rayons X. Il y a lieu d'espérer que les corps radiants, découverts par M. et Mme Curie, procureront tôt ou tard, économiquement, un moyen pratique de radiographie.

Il existe des **horloges électriques** dans lesquelles l'électricité est employée comme force motrice, dans de petits moteurs indépendants ou synchrones, et d'autres où elle est simplement employée à solidariser plusieurs appareils; c'est sous cette forme que l'horlogerie électrique s'est développée dans ces dernières années : à la gare Saint-Lazare on compte ainsi 400 pendules Garnier, solidaires entre elles; l'Élysée-Palace possède 332 réceptrices Henry Lepaute; la gare du quai d'Orsay, 386.

Les chemins de fer utilisent divers appareils de **contrôle** (Chaperon), d'enclenchement et de correspondance pour le block-système, de sifflets électro-magnétiques (Lartigue), mus par l'électricité. On peut les ranger dans deux principales catégories, suivant que le poste de manœuvre ou la pédale de contact envoient le courant dans des électro-aimants ou dans de petites dynamos.

De nombreux **indicateurs et enregistreurs à distance**, pour les phénomènes de toute nature, ont emprunté à l'électricité ses précieuses propriétés de servo-moteur à tout faire; tels sont les avertisseurs d'incendie à mercure ou à ferro-nickel, les transmetteurs d'ordre, les appareils indicateurs du niveau de l'eau, ceux qui inscrivent les flèches de flexion des tabliers de ponts métalliques, ceux qui indiquent la proportion de grisou dans les mines, etc.

Une application, jusqu'à présent limitée par le prix de revient, mais susceptible d'un grand avenir, consiste dans l'utilisation domestique et industrielle de la **chaleur** que les courants électriques développent, lorsqu'on les dirige dans des conducteurs à résistance convenable. Le chauffage de certaines étuves à des températures fixes peut être facilement réalisé, au moyen de combinaisons automatiques qui interceptent le courant, quand la température voulue est atteinte (d'Arsonval-Adnet).

L'emploi de résistances métallo-céramiques, obtenues par l'introduction d'une poudre métallique dans des corps mauvais conducteurs (Parvillée frères) soumis à une haute température et à de fortes pressions, fournit des matériaux d'une grande solidité et pouvant être portés au rouge; leurs extrémités sont métallisées et les barreaux,

IMPRIMERIE NATIONALE.

réunis sous forme de grille, se prêtent à toutes les exigences de la cuisine ou d'un chauffage domestique décoratif; à l'Exposition, le restaurant de la Feria a assuré tout le service de ses cuisines au moyen d'un grand fourneau à huit groupes de résistances, de deux grilloirs et de deux fours. L'eau chaude, le café, le chocolat et le thé possédaient leurs fourneaux spéciaux. On a pu calculer que, au prix de 0 fr. 50 le kilowatt-heure, la dépense du chauffage de chaque repas était revenue à 0 fr. 233.

Il suffit d'avoir vu fonctionner ces remarquables appareils pour être assuré que le chauffage électrique possède, dès à présent, les qualités de réglage facile, d'adaptation esthétique, de commodité et d'hygiène qui en font, par excellence, le chauffage de luxe, comme l'éclairage électrique par incandescence l'emporte sur tous les autres modes d'éclairage aux mêmes points de vue. Seulement, en matière de chauffage et eu égard aux prix habituels du courant électrique, le prix de revient est fort élevé et sera longtemps encore peu abordable; les seuls appareils déjà répandus sont ceux qui servent à chauffer les fers à friser et à repasser. Cependant, une application intéressante et sur une grande échelle a été effectuée dans certains transatlantiques (la *Lorraine* notamment); les cabines de luxe y sont chauffées électriquement.

SIXIÈME GROUPE.

GÉNIE CIVIL. — MOYENS DE TRANSPORT.

Classe 28.

MATÉRIAUX, MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DU GÉNIE CIVIL.

Le rapport de M. Debray comporte trois chapitres distincts : les matériaux de construction; le matériel et les procédés du bâtiment; le matériel et les procédés des entreprises de travaux publics. Nous allons passer en revue les progrès notables afférents à ces divers chapitres, en insistant d'abord sur l'emploi de plus en plus généralisé du *ciment armé*, dont l'Exposition elle-même nous a montré des applications multiples et tout à fait intéressantes : pont du Trocadéro, soubassements des palais étrangers, etc.

Les premières applications pratiques du sidéro-ciment (Bordenave) aux tuyaux et aux réservoirs datent de 1887; elles consistaient simplement à noyer une toile métallique dans un mortier de ciment; l'application du mélange fer et ciment aux poutres armées est postérieure à 1889, et a dès lors donné lieu à d'ingénieuses combinaisons par lesquelles les inventeurs, tout en laissant principalement au fer le soin de travailler à l'extension et au ciment celui de s'opposer à la compression, cherchent à solidariser intimement les deux matériaux composants entre eux, au moyen d'étriers, de barrettes transversales, etc.

De 1892 à 1899 s'échelonnent les brevets Hennebique, concernant la fabrication des poutres, pieux, palplanches, traverses de chemins de fer, tuyaux, murs démontables, planchers-voûtes à grande portée.

M. E. Coignet a pris également part à ce grand mouvement, en construisant un grand nombre de réservoirs et de canalisations en ciment armé; l'Exposition lui devait la construction du Château d'eau

L'ingénieuse conception qui fait dériver un treillis rigide du simple découpage d'une tôle d'acier (*métal déployé*), se prête à la confection économique de murs, cloisons, planchers et plafonds en ciment armé, à la fois résistants et élastiques; l'idée est féconde et les applications se multiplient. Le métal déployé est constitué par des feuilles de tôle mince, dans lesquelles on découpe mécaniquement des losanges très rapprochés et imbriqués; entre les emplacements des losanges, subsistent des filets métalliques de quelques millimètres, qui sont partiellement relevés et procurent ainsi des aspérités propres à retenir le ciment ou le plâtre.

Le matériel et les procédés du bâtiment sont tributaires des progrès réalisés, dans les sens les plus divers, par les industries du bois, de la céramique, de la métallurgie, du chauffage domestique, de l'éclairage, etc. L'exposition collective des architectes et entrepreneurs d'une grande maison pour bureaux d'affaires, à New-York, résume heureusement les applications de ces progrès industriels; l'*ossature générale* est *en acier*, avec revêtement en terre cuite. La façade est partiellement en granite, les volets en fer, tout l'ensemble incombustible. De grands ascenseurs hydrauliques donnent accès aux nombreux étages. La vapeur sert à fournir la lumière électrique et la force motrice nécessaire aux ascenseurs; son échappement est utilisé pour le chauffage par rayonnement direct. La construction est extrêmement rapide; grâce à l'ossature d'acier, on peut commencer simultanément la maçonnerie aux différents étages; le levage se fait au moyen de grues perfectionnées, desservant à toute hauteur leurs alentours.

Dans le matériel et les procédés des travaux publics nous trouvons une application encore plus directe des progrès de la mécanique : les *excavateurs*, les *dragues* sont de taille et de puissance sans cesse croissantes; on peut citer, à ce point de vue, les dragues aspiratrices, à refoulement et désagrégateurs de M. Linton W. Bates; accouplées deux à deux elles doivent extraire, par heure, 3.000 mètres cubes de sable de rivière ordinaire, sur 1 m. 07 d'épaisseur, et les refouler à 213 mètres de distance, au moyen de tubes flotteurs.

Le percement du Simplon a appelé l'attention sur les perfectionnements successifs apportés à la construction et au fonctionnement

des *perforatrices* mécaniques; le système Brandt, qui y est exclusivement employé, est actionné par l'eau comprimée; c'est elle qui est chargée d'ancrer l'affût contre les parois rocheuses, de presser le burin sur la roche et de lui imprimer un mouvement rapide de rotation. Au Simplon, l'eau est comprimée à près de 100 atmosphères; on lui a reconnu l'avantage de refroidir les outils et l'air des chantiers plus efficacement que ne faisait précédemment l'air comprimé.

Parmi les spécialités rentrant dans la Classe 28, nous trouvons les *Phares et Balises*, tributaires d'une industrie presque exclusivement française et rappelant, avec le nom de Fresnel, une de nos grandes gloires nationales. Les conquêtes des dix dernières années sont notables et se rapportent autant à l'augmentation de la puissance lumineuse qu'à la construction des tours-balises et des phares à grande hauteur.

Nos ingénieurs ont augmenté la puissance des optiques, en donnant aux appareils tournants, au moyen de suspensions à bain de mercure et de mouvements d'horlogerie perfectionnés, une stabilité maximum, un frottement minimum, une vitesse de rotation considérable. Le temps de révolution peut ne pas dépasser une durée de cinq secondes, et dès lors on a diminué le nombre des lentilles pour augmenter leurs surfaces. Ces vitesses sans précédent, surtout pour les phares de premier ordre, constituent certainement un des plus remarquables progrès que nous ayons à signaler dans cette industrie délicate; il se marie d'ailleurs avec une précision incomparable dans le contrôle des lentilles, dans la détermination des foyers optiques et de la divergence de leurs divers échelons.

En outre, on a mis à contribution les procédés d'incandescence, avec le manchon Auer, soit en utilisant le gaz d'huile sous pression, soit en vaporisant le pétrole au moyen de la chaleur perdue du brûleur. On a ainsi considérablement amélioré les feux d'atterrissage de seconde ligne, réservant la lumière électrique pour les appareils de premier ordre.

Les feux flottants sont, eux aussi, en grand progrès : leur stabilité relative est assurée au moyen de quilles de roulis à forte saillie et par la suppression du synchronisme, jadis trop souvent réalisé, entre

leurs oscillations propres et celles des lames. En outre, le lest est situé aussi bas que possible, extérieurement à la coque. Les feux sont d'ailleurs suspendus à la Cardan, de façon à constituer un pendule à oscillations très lentes, qui le rendent à peu près insensible à celles de son support.

Quant aux feux fixes, établis sur des points inaccessibles par les mauvais temps, on les alimente avec des lampes à huile minérale, susceptibles de fonctionner sans interruption pendant trois mois consécutifs; on peut même, en les suspendant sur des flotteurs à mercure, leur donner le caractère de feux à occultation ou à éclats, au moyen d'une petite magnéto, indéfiniment actionnée par quelques piles; ces feux acquièrent ainsi toute la valeur des feux gardés et contribuent efficacement et économiquement à l'éclairage des côtes.

Les tourelles-balises sont actuellement construites en ciment pur dont l'immersion appropriée, sous 8 mètres d'eau, au-dessous des basses mers, a récemment permis l'exécution d'une tourelle sur l'écueil de Rochebonne, à 55 milles au large de la Rochelle, dans des conditions devant lesquelles avaient, jusqu'à présent, reculé nos ingénieurs.

Classe 29.

MODÈLES, PLANS ET DESSINS DE TRAVAUX PUBLICS.

MM. de Dartein et Choisy, rapporteurs de la Classe 29, présentent dans un remarquable travail de 480 pages, l'histoire encore abrégée des principaux travaux publics de la dernière décade; ce merveilleux développement de l'industrie humaine, dans le sens du socialisme d'État, utile à tous et admis par les économistes des écoles les plus diverses, embrasse à peu près toutes les branches de la construction et de la mécanique. Les routes et les ponts, la navigation intérieure et maritime, l'infrastructure des chemins de fer, les travaux de défense contre les inondations, et ceux d'édilité qui confinent si souvent aux nécessités domestiques et hygiéniques, tel est le domaine des travaux publics dont nous ne pouvons qu'effleurer les conquêtes les plus nouvelles.

Nous rangerons d'abord, parmi celles-ci, les progrès du calcul des efforts et des dimensions; la *résistance des matériaux* est tributaire des procédés de la statique graphique, des appareils de mesure, enfin des diverses méthodes tendant à substituer aux assemblages rigides ceux à rotule ou à lames flexibles, même pour les ponts en maçonnerie.

L'entretien des **routes** tend à s'améliorer sous la double influence d'un choix de matériaux plus étudié au point de vue géologique et pétrographique, et de l'usage, seul rationnel, des rechargements généraux et du cylindrage à vapeur; le développement du cyclisme et de l'automobilisme forceront les ingénieurs à soigner de plus en plus ces détails, dont l'importance pratique ira désormais en croissant; on sait la facilité avec laquelle ces nouveaux modes de locomotion, déjà si répandus, permettent de juger du soin avec lequel les routes sont entretenues.

Le pavé de bois, malgré quelques inconvénients d'ordre hygiénique, jouit toujours de la faveur publique dans les grandes villes.

Les **ponts** en maçonnerie présentent maintenant des arches d'une ouverture de 84 mètres (Luxembourg). Les travées des ponts métalliques atteignent couramment de 100 à 200 mètres. Le pont Alexandre III, dont tout le monde a pu admirer l'apparente légèreté, présente une ouverture de 109 mètres (entre les nus des culées); l'arche unique, d'une flèche de 6 m. 37 seulement entre articulations (6 m. 42 à la courbe d'intrados), est composée d'arcs en acier fondu et recuit, travaillant à la façon des arcs en maçonnerie. Chacun d'eux comprend 32 voussoirs en double T, taillés avec la même précision que les pièces de machines les plus délicates. Les ingénieurs auxquels on doit cette œuvre magistrale, MM. Résal et Alby, ont eu, en outre, le mérite d'avoir procédé au montage, sans apporter la moindre gêne à la navigation si active de la Seine.

Les ponts de Red-Rock sur le Colorado, de Memphis sur le Mississipi, nous présentent de gigantesques exemples de ponts *cantilever* articulés. Le pont François-Joseph, à Budapest, du même type, a un

aspect général qui rappelle les ponts suspendus. Ces derniers ont notablement progressé, grâce aux efforts de M. Arnodin, qui les a récemment appliqués à la traversée des passes maritimes, au moyen de transbordeurs à plate-forme, reliés à un chariot aérien, roulant sur des rails et actionné au moyen de câbles, par la vapeur ou l'électricité. Le transbordeur de Portugalete, près Bilbao, a une portée de 160 mètres; ceux de Rouen, de Martrou (Charente), de Bizerte ont respectivement 143, 140 et 109 mètres.

Il semblerait que l'extraordinaire développement des voies ferrées, auquel nous avons assisté durant la seconde moitié du XIXe siècle, dût être corrélatif d'une diminution d'activité de la **navigation intérieure;** il n'en est rien et cette activité redouble dans la plupart des États européens.

En France, notre grand effort a précédé l'Exposition de 1889; cependant, on termine en ce moment le canal de la Marne à la Saône et l'on avance celui de Montbéliard à la Haute-Saône. D'ingénieux perfectionnements ont été apportés à l'exploitation des voies déjà existantes; nous citerons notamment le touage électrique dans certains souterrains (Pouilly), le halage funiculaire imaginé par M. Maurice Lévy dans d'autres (Mont-de-Billy). M. Barlatier de Mas a produit un intéressant mémoire sur la résistance au mouvement des divers genres de bateaux; leur longueur paraît être sans influence; quant à la meilleure forme à donner à leurs extrémités, elle se rapproche de la forme en cuiller.

En Allemagne, les efforts ont redoublé depuis 1889; non seulement on a creusé le canal de Kiel, joignant la mer du Nord à la Baltique; mais on a réuni les centres industriels de Westphalie au port d'Emden par le canal de Dortmund à l'Ems; celui de l'Elbe à la Trave a mis Lubeck en relation directe avec le grand port maritime de Hambourg; l'Oder canalisé dessert les houilles de Silésie. Ce sont tous travaux à longs biefs, à hautes écluses, avec ouvrages d'art remarquables, tels que l'ascenseur de Henrichenburg, les écluses à siphons et à air comprimé du système Hottopp.

Grâce à ces efforts, le trafic de la navigation allemande a plus que

doublé en vingt ans; il dépasse, depuis 1895, 45 millions de tonnes et représente le tiers de celui des chemins de fer. Enfin, de nouveaux projets, encore plus grandioses, sont sur le point d'être mis à exécution, parmi lesquels le canal du Rhin à l'Elbe, mesurant 466 kilomètres, ne devant compter que six écluses, et dont le devis monte à 325 millions.

Le canal maritime de Kiel mérite une mention spéciale; il a réalisé une diminution de parcours de 425 milles de la Baltique à Hambourg, et de 239 milles pour aller de Cronstadt à Dunkerque ou à Londres. Long de 93 kilomètres, il exige une traversée de neuf à quatorze heures, suivant le calage des navires; la profondeur totale est de 9 mètres au moins. La dépense s'est élevée à 158.851.000 francs; le trafic a atteint, en 1899, 3.451.000 tonnes; il tendra bientôt vers une recette rémunératrice.

Les Pays-Bas ont aussi demandé, à un judicieux aménagement de leurs cours d'eau, la satisfaction des besoins d'une très active navigation de fort tonnage et la possibilité d'écouler, sans danger, des crues, plus menaçantes chez eux que partout ailleurs. Ils y sont parvenus au moyen de digues insubmersibles et de procédés simples, généralement basés sur l'étude détaillée de chaque cours d'eau.

En Russie, il existe 56.000 kilomètres de voies navigables dont 27.000 utilisées par la navigation à vapeur; la quantité de marchandises transportées par ces voies a été, en 1897, de 23 milliards de tonnes-kilomètres, contre 24 transportées par les chemins de fer; elle a triplé dans le dernier quart du XIXe siècle.

Le même progrès peut être constaté dans l'aménagement et le mouvement général des principaux **ports de mer.** Les facilités d'accès, la longueur des murs de quais, l'enlèvement mécanique rapide du fret vont avec l'accroissement sensible du nombre de tonnes importées et exportées; car le progrès attire le progrès. En France, Marseille, Dunkerque, Rouen, Calais, Nantes, Bayonne sont en augmentation notable; le Havre est réduit à un accroissement plus lent; Dieppe, stationnaire pour les marchandises, est en grand progrès pour le nombre des voyageurs. Notre grand port de la Méditerranée tient la tête avec

6.275.000 tonnes en 1898, contre 4.785.000 en 1888; Gènes est presque stationnaire avec 4.500.000 tonnes.

Les ports allemands ont participé à l'extrême prospérité de l'industrie allemande pendant la dernière décade : en chiffres ronds, leur mouvement s'est élevé de 15 à 24 millions de tonnes; Hambourg, qui tient la tête, a passé de 7.500.000 tonnes (1890) à 12.300.000 (1898).

En Russie, l'essor est considérable; les ports de la Baltique (Saint-Pétersbourg-Cronstadt en tête) accusent un mouvement de 7 millions de tonnes; ceux de la mer Noire (Odessa), 8 millions et demi; la Caspienne (Astrakan, Bakou), 9 millions.

L'Angleterre n'avait pas participé à notre exposition de travaux publics.

L'augmentation croissante du tonnage et du tirant d'eau des navires, et notamment de la flotte des transatlantiques, exige un notable approfondissement des passes, des avant-ports et des bassins. Les portes des bassins à flot prennent des proportions sans cesse croissantes; les ponts tournants atteignent, dépassent même 180 mètres de portée. Les appareils de chargement et de déchargement mettent à contribution la mécanique de précision et les divers agents des servo-moteurs : air et eau comprimés, courants électriques. Enfin les cales sèches et les formes de radoub exigent des dimensions colossales. Tels sont les facteurs, déjà connus et simplement amplifiés, de ces formidables échanges entre les nations; ils sont en voie de transformer plusieurs de nos colonies, en tête desquelles nous pouvons citer avec orgueil la Tunisie (la Goulette, Sfax, Bizerte), l'Indo-Chine et Madagascar.

L'infrastructure des chemins de fer a mis, elle aussi, à contribution l'ingéniosité des constructeurs. L'expansion de ce merveilleux moyen de transports et de communications rapides a été tellement intense, que la plupart des nations civilisées sont désormais dotées d'un réseau suffisant; seules la Russie et l'Amérique du Nord ont encore présenté, pendant la dernière décade, un accroissement considérable du nombre de kilomètres exploités; encore convient-il de remarquer que la Russie termine actuellement son grand Transsibérien, et que,

pour les États-Unis, l'augmentation, quoique considérable, est en notable diminution sur la décade précédente.

De 1889 à 1899, le gain des chemins de fer russes se chiffre par 23.500 kilomètres, dans lesquels le Transsibérien asiatique (de Tchelabinsk à Vladivostok) entre pour 6.500 kilomètres. Les frais de l'infrastructure du Transsibérien ont été, en moyenne, de 123.000 francs, avec un maximum de 225.000 et un minimum de 86.000 francs.

Aux États-Unis, la décade 1878-1888 a compté un gain de 120.000 kilomètres, celle de 1888-1898, de 45.000 kilomètres qui portent, au total vraiment formidable de 297.000 kilomètres, le réseau des chemins de fer actuellement en exploitation.

Les régions montagneuses, jusqu'à présent déshéritées, commencent à se peupler de chemins de fer, généralement électriques, les uns à adhérence totale par voitures individuellement automotrices (Chamonix), les autres, plus nombreux et souvent plus pratiques, à **crémaillère**. La Suisse est, à cet égard, en tête du progrès; on y avance les travaux d'infrastructure, remarquables à tous égards, du chemin de fer à crémaillère de la Yung-Frau. Tout y a été sujet à études intéressantes, la coupe géologique des terrains traversés, la température probable des souterrains, leur aérage, etc. Le tunnel, d'une longueur totale de 10 kilomètres, sera vraisemblablement achevé en 1904. Dès à présent, la ligne est ouverte jusqu'à la station de Rothstock (2.523 mètres). Les perforatrices sont à rotation électrique et proviennent d'Oerlikon. La crémaillère, du type Strub, consiste en un rail à patin, à tête tronconique découpée en dents. Elle pèse 34 kilogrammes par mètre courant; la superstructure complète atteint 125 kilogrammes.

Ce beau travail, en pleine exécution, a piqué d'émulation les alpinistes et les géologues français; l'Exposition nous présentait un avant-projet de chemin de fer à crémaillère, montant des Houches (Chamonix) au mont Blanc, dressé par M. Vallot, assisté des conseils géologiques de MM. Depéret et Offret, professeurs à l'Université de Lyon.

L'art de percer les **tunnels** prolongés a, lui aussi, fait de notables progrès : une visite, même sommaire, au Simplon permet à ce point de

vue une comparaison instructive avec les procédés jadis mis en œuvre au Saint-Gothard et au mont Cenis. Le tunnel, en cours d'exécution, mesure 19.729 mètres, dépassant de près de 5 kilomètres celui du Saint-Gothard. L'entrée de la tête Nord est à la cote 685 m. 85; il s'élève d'abord en rampe de 0 m. 002 sur environ 9 kilomètres, reste en palier sur 500 mètres, puis descend avec une pente de 0 m. 007 sur 10 kilomètres de long, à la tête Sud, qui est à la cote 633 m. 75.

Ces faibles déclivités, jointes à l'abondance des eaux déjà rencontrées, ont amené des inondations momentanées.

L'attaque se fait simultanément, suivant deux galeries parallèles dont la première reçoit immédiatement la section nécessaire à l'établissement d'une voie (5 m. 50 de hauteur sur 5 mètres de largeur maximum), tandis que l'autre qui, plus tard, pourra servir à l'établissement d'une seconde voie, est creusée actuellement à la section réduite de 2 m. 50 de hauteur sur 2 m. 50 de largeur. Tous les 200 mètres, la petite galerie est reliée au tunnel par des traverses qui servent à l'aérage et à la circulation des wagons. Le tunnel sert de sortie à l'air vicié; l'air frais est soufflé par quatre ventilateurs Sulzer superposés deux à deux, à l'entrée de la petite galerie. Cette heureuse disposition, souvent utilisée dans les travaux de mine, permet de laisser circuler, dans la grande galerie de retour d'air, des locomotives à vapeur, remorquant de véritables trains jusqu'à 300 mètres environ des fronts d'attaque; quant à la distribution des wagons vides entre les divers chantiers, elle se fait à partir de cette gare centrale, au moyen de locomotives à air comprimé qui reviennent, avec les wagons chargés, par la petite galerie.

Les perforatrices Brandt, employées au travail, sont hydrauliques à rotation. Nous en avons parlé plus haut (page 221).

Avant de quitter l'infrastructure des chemins de fer, nous devons mentionner, avec admiration, les beaux travaux nécessités par la prolongation du chemin de fer de Sceaux jusqu'à la place Médicis; ceux que nous avons vus s'exécuter, comme par enchantement, pour édifier la principale gare des chemins de fer d'Orléans, au milieu de Paris, au quai d'Orsay; ceux enfin qui ont doté la capitale de la nouvelle gare des Invalides et du Métropolitain.

Classe 30.

CARROSSAGE ET CHARRONNAGE, AUTOMOBILES, CYCLES.

Le rapport sur les cycles est dû à la collaboration de MM. Forestier, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et Philippe Bovet-Japy, directeur de la maison Peugeot; il débute par une intéressante étude sur les précurseurs du cyclisme; c'est en 1790 que M. de Sivrac invente son *célérifère*, auquel le baron Drais de Sauerbrön ajoute, en 1813, l'articulation de la roue avant; on sait que les pieds, pendant à terre, communiquaient le mouvement à ces appareils primitifs; un apprenti forgeron de 14 ans, Ernest Michaux (1855), y applique des pédales actionnant la roue d'avant; le bicycle est complet; les Anglais s'en emparent et le construisent en métal.

L'année 1869 voit naître la bicyclette; M. Suriray introduit les roulements à billes dans les articulations des cycles; M. Montagne imagine de rendre motrice la roue arrière. Ces deux inventions sont reprises et menées à bien en Angleterre (1879-1885).

Néanmoins, le nouvel instrument, rendu pour ainsi dire parfait par l'application de pneumatiques démontables avec chambre à air (dont l'invention, due à Thomson, date de 1848), ne commence à se vulgariser qu'en 1889, après la mémorable course Paris-Brest-Paris, provoquée par M. Pierre Giffard.

C'est donc durant la dernière décade que l'humanité s'est vue dotée de ce puissant moyen de translation, dont la France devait bénéficier plus que toutes ses voisines, à cause de l'admirable réseau de routes qu'elle possède. En 1900, l'impôt a été perçu sur 975.858 cycles; il existe, dès à présent, une bicyclette par 40 habitants; en 1894, on en comptait cinq fois moins; le Touring-Club de France réunit plus de 70.000 adhérents, et son action bienfaisante se fait sentir non seulement au point de vue artistique et pittoresque, mais aussi au point de vue hygiénique, tant par le regain de vitalité qu'il a prêté aux divers genres de sport recommandables, que par l'influence qu'il exerce sur la tenue des routes et des hôtels de notre pays.

Parmi les derniers perfectionnements apportés à la construction des cycles, nous mentionnerons l'emploi des tôles d'acier embouties, en partant des tubes et des tôles plates travaillées par bossage, puis soudées électriquement (procédé américain); les axes et les diverses petites pièces sont généralement fabriqués au tour-revolver, à grands jets d'huile; on essore les copeaux pour la récupérer presque intégralement; les roues dentées sont travaillées aux machines à doubles fraises, dont le type est la machine Brown et Scharpe.

Les bicyclettes militaires pliantes du capitaine Gérard, la roue libre, les freins sur jante, les changements de vitesse, sont autant de nouveautés qui nous paraissent devoir être bientôt universellement adoptées.

L'application aux cycles des machines motrices, type automobiles, date de 1895, époque à laquelle nous avons vu naître les bicyclettes à pétrole Millet, Hildebrand et Wolfmüller, Duncan et Suberbie. En 1896 se manifestent les tricycles Léon Bollée et de Dion-Bouton; ce dernier à essence, déduit d'essais poursuivis depuis 1882 sur des tricycles à vapeur, se dégage immédiatement de ses concurrents et justifie, par ses qualités d'endurance et de maniement facile, l'immense vogue à laquelle il est parvenu; actuellement encore sa transformation en quadricycle en fait un véhicule à deux places pratique et économique. Enfin, en 1898, la bicyclette à pétrole Werner commence à se répandre.

En résumé, l'industrie des cycles compte, parmi ses précurseurs, des inventeurs surtout français; leur construction a d'abord été presque monopolisée par l'Angleterre : en 1892, nos importations montaient à 673 tonnes, dont 623 d'origine anglaise; nos exportations n'atteignaient que 197 tonnes. En 1899, les chiffres sont renversés et nos exportations (667 tonnes) dépassent nos importations (559 tonnes). Le danger ne vient plus d'Angleterre dont les importations se balancent avec nos exportations; il vient des États-Unis dont les tarifs prohibitifs s'accommodent avec un envoi sans compensation de 278 tonnes, qui paraît en voie de doubler tous les deux ans. Il faut tenir compte de ce fait que les bicyclettes américaines sont importées nues, sans selles ni accessoires, qu'elles ne comptent guère que pour 6 kilogrammes et

ne payent que 15 francs de droits d'entrée. Bien que nos grandes maisons luttent courageusement contre cette concurrence, elles seront débordées par le trust américain A. B. C. au capital de 200 millions de francs, qui nous inonde de produits bon marché, au besoin vendus à perte, sûr qu'il est de lutter sans concurrence dans son propre pays. Il nous paraît certain que le péril est réel; l'industrie cycliste, qui fait vivre environ 90.000 ouvriers, est encore prospère; mais elle demande, à juste titre, de lutter contre la concurrence étrangère à armes égales.

Le Conservatoire des arts et métiers garde pieusement dans sa collection historique la voiture à feu de Cugnot (1771) qui est, sans conteste, l'ancètre des **automobiles.** En 1828, Onésiphore Pecqueur applique la transmission par chaînes, le différentiel et la direction par roues d'avant à pivots verticaux, due à Lans Kensperger (1816). Dès 1835, diverses voitures à vapeur circulent entre Paris, Versailles et Saint-Germain (Marconi, Dietz); c'est même sur le tricycle remorqueur Dietz qu'apparaissent les premiers bandages élastiques en feutre, en liège, et enfin en caoutchouc. Nous passons sur les locomotives routières Lotz, Albaret, Aveling et Porter, pour insister sur le célèbre omnibus à vapeur «la Mancelle», construit en 1870, au Mans, par Bollée, et qui réalisa plusieurs dispositifs encore actuellement en usage : notamment pour la commande des roues directrices autour de leurs pivots verticaux, et pour celle des roues motrices au moyen de chaînes et d'un arbre intermédiaire à différentiel, mû par une machine enfermée dans un carter.

Dès 1862, Lenoir avait appliqué son moteur à explosion à une voiture qui a réellement circulé; en 1881, Raffard a, le premier, utilisé les accumulateurs Faure, dont le brevet date de 1880, à la traction d'un omnibus de grande dimension.

Tels sont, d'après l'intéressante monographie du rapporteur de la Classe 30, M. Forestier, les précurseurs de l'automobile moderne.

Nous avons eu à surveiller la nouvelle industrie à son origine et dès lors nous en avons pressenti l'importance; elle a débuté par les tricycles et voitures à vapeur de Dion-Bouton-Trépardoux (1883), et par le tricycle à vapeur Serpollet (1889); les moteurs à explosion

Benz actionnaient, vers la même époque, quelques voitures, dont l'allure au départ rappelait un peu celle des sauterelles. Puis vinrent les premières applications, par MM. Panhard-Levassor, des moteurs Daimler (1890), comportant déjà l'emploi des cônes de friction à embrayage progressif, et l'heureux agencement, sur un cadre à la fois souple et résistant, de la barre de direction, des pédales de débrayage et de frein, et des leviers de changement de marche et de vitesse.

Nous voyons encore, dans nos souvenirs déjà lointains, M. de Dion courbé sur une épure de cette ingénieuse transmission à la Cardan qui est une des caractéristiques de sa maison; M. Serpollet nous pilotant, dans un de ses tricycles à chaudière instantanée, à travers les allées encombrées de l'Exposition de 1889 sans frôler un passant, sans accrocher une chaise; M. Levassor nous présentant mystérieusement son type Paris-Bordeaux qui, pour la première fois, atteignit une vitesse de 30 kilomètres à l'heure et lui permit de faire la preuve de l'admirable endurance, caractérisant à la fois la machine et son inventeur.

Entre temps, M. A. Bollée imaginait le levier tendeur de son tricycle, M. Peugeot produisait les premiers types élégants de carrosserie automobile, M. Delahaye appliquait à son moteur l'allumage électrique et les courroies de transmission suffisamment longues.

C'est de 1895 que date le tricycle à essence de Dion-Bouton; il représente le triomphe de ces légers moteurs, avec un seul cylindre refroidi par des ailettes, à grande vitesse, avec avance à l'allumage, d'une endurance extraordinaire, d'une simplicité vraiment admirable, qui ont, à certains points de vue, bouleversé les idées préconçues des mécaniciens les plus compétents.

Bientôt M. Amédée Bollée dote les voitures de Dietrich du premier moteur d'automobile, dont la régulation se fasse par levée progressive des soupapes d'échappement. M. Mors applique à l'allumage électrique le procédé par rupture d'un courant passant dans une bobine douée d'une self-induction énergique. M. Krebs donne aux automobiles le frein réversible à mâchoires et la direction irréversible. MM. Brillié et Gobron imaginent leur distributeur à alvéole, leur moteur équi-

libré à deux pistons pour un seul cylindre, la direction à engrenages épicycloïdaux. M. Serpollet applique à sa chaudière le chauffage au pétrole lampant, réglé proportionnellement à l'alimentation.

Dans la description de l'état actuel de cette industrie de l'automobilisme, créée par les efforts de nos inventeurs et secondée par l'intelligente initiative des fondateurs de l'Automobile-Club de France, nous nous appuierons principalement sur les documents publiés par le rapporteur de la Classe 30, M. Forestier, et par M. le comte de Chasseloup-Laubat[1].

Le *poids* des voitures de course et de tourisme tend à s'échelonner entre 600 et 1.400 kilogrammes, presque également répartis sur les deux essieux dont l'*empattement* (espacement) est poussé au maximum et atteint de 1 m. 60 jusqu'à 2 m. 25; on y gagne une direction plus facile à conserver et les inégalités de la route se traduisent par un tangage moins accentué. Quant au roulis, on lutte contre lui surtout en abaissant le centre de gravité de l'automobile au moyen d'essieux coudés en acier au nickel, pour éviter de diminuer outre mesure le diamètre des *roues*. Celles-ci ont de 0 m. 75 à 1 m. 06 de diamètre, avec 1 m. 18 à 1 m. 35 de voie; elles sont égales entre elles, pour diminuer l'approvisionnement en pneumatiques de rechange; elles sont en bois, avec rais engagés entre deux tourteaux métalliques, l'un adhérent à la boîte du moyeu et parfois prolongé par des antennes le long de chaque rai, l'autre serré par des boulons à écrous.

Le *moyeu* est en acier, la fusée en acier cémenté. Le roulement à billes ou à rouleaux cylindriques s'introduit lentement dans la pratique courante; il nécessite un calibrage extrêmement rigoureux et une usure égale; son avantage consiste principalement à diminuer l'effort au démarrage.

De même que les roues, le *cadre* en bois, armé d'acier et muni de chaises métalliques pour asseoir la machine et les carters, s'est montré plus souple[2] et plus résistant que les cadres en métal trop rigide, surtout pour les voitures un peu lourdes. La *suspension* entre le cadre

(1) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*, février 1901.

(2) On obtient la rigidité nécessaire aux axes principaux, en les asseyant sur des chaises métalliques, formant cadre secondaire.

IMPRIMERIE NATIONALE.

et les essieux est assurée, à l'avant par des ressorts droits et des demi-ressorts; à l'arrière par des ressorts à jumelles, parfois complétés par un ressort transversal, ou remplacés par des ressorts à pincettes pouvant glisser sous le cadre.

Les roues d'avant sont *directrices* et leurs essieux brisés, prolongés, doivent se rencontrer sur la droite passant par l'essieu arrière; pratiquement on se contente d'une solution approximative, réalisée par une simple barre d'attelage, réunissant des bras fixés sur les fusées. L'un de ces bras est, en outre, solidaire d'une tige horizontale, liée à un secteur, sur lequel agit une vis sans fin, mue par un volant incliné; grâce à cette horizontalité, les mouvements, dus à la suspension, ne se transmettent pas aux roues directrices, dont les chocs doivent être atténués par des joints à rotules et ressorts; la direction est ainsi suffisamment irréversible, sans être absolument rigide.

Les *freins* doivent être particulièrement puissants et d'un usage pratique prolongé, double condition assez difficile à réaliser, parce que les pneumatiques éliminent les freins à sabot ordinaires. Généralement, avant d'agir, leur mécanisme débraie le moteur; l'un d'eux serre, au moyen de mâchoires métalliques puissantes, une couronne calée sur l'arbre du différentiel; sa suspension lui permet d'agir dans le sens de la marche avant et arrière; il est très utile qu'il soit refroidi, soit par circulation d'eau intérieure, soit même par gouttes d'eau; sinon l'échauffement devient extrême dans les descentes un peu prolongées; les graisses brûlent et peuvent communiquer le feu à la carrosserie. Un autre système de freins agit simultanément sur deux tambours solidaires des roues motrices arrière; il est utile que son action soit très égale des deux côtés et s'exerce aussi dans les deux sens, pour ne laisser à la béquille qu'un rôle subordonné; on peut en réaliser d'excellents à mâchoires, dont le serrage soit assuré par une articulation pivotant autour d'une jambe de force de même longueur que celle qui tend les chaînes; on réalise ainsi un frein de Prony, capable d'une action prolongée sans saccades.

En cas de nécessité, le moteur peut agir comme frein, à la double condition que l'on y supprime l'admission d'air et de mélange tonnant et que l'action du régulateur sur les soupapes d'échappement soit sus-

pendue. Pour compléter cet emploi du moteur comme facteur de travail résistant, il est utile de pouvoir agir, par commande spéciale, sur un des freins précédents, sans débrayer le moteur.

Nous avons déjà donné sur les *moteurs à explosion*[1] des détails qui nous dispensent d'insister ici. La disposition du moteur vertical à l'avant, préconisée par Levassor, est désormais presque universellement adoptée; le plus souvent, il est à 4 temps, à 1, 2, 3 ou 4 cylindres, aussi équilibrés que possible.

Les *carburateurs* par léchage (de Dion-Bouton) ou barbottage (Delahaye) rétrocèdent devant ceux à giclage par aspiration à niveau constant (Phenix de Levassor) ou encore à distribution par alvéoles (Gobron-Brillié), ou même par compression d'une lentille manométrique (Vilain).

Il est utile de les réchauffer l'hiver, soit par double fond à circulation de gaz de l'échappement[2] ou d'eau de refroidissement, soit par aspiration d'air chaud; l'emploi de l'alcool exige un chauffage accentué ou mieux un réchauffement après pulvérisation du mélange d'air et de combustible, par son passage[3] dans un serpentin ou dans des chicanes, chauffés par les gaz de l'échappement.

L'*inflammation* par tubes à incandescence a l'inconvénient de ne pas permettre l'avance à l'allumage et de présenter quelques dangers d'incendie; elle rétrocède devant les procédés électriques. Parmi ces derniers, on peut distinguer ceux qui emploient des piles ou des accumulateurs, des bobines d'induction avec ou sans trembleurs et des contacts tournants, greffés sur l'arbre des cames d'échappement deux fois plus lent que celui de la machine; la complication des connexions, les courts circuits assez fréquents, la fragilité des bougies, la difficulté de réglage très précis des contacts afférents à une machine à plusieurs cylindres, sont les quelques inconvénients bien connus de ce genre d'allumage. On lui a récemment substitué l'emploi des magnétos à mouvement alternatif (Daimler), puis rotatif (Mors), qui peut fort bien s'accommoder de l'avance à l'allumage et qui produit l'étincelle par rupture du courant[4].

[1] Voir page 169.

[2] Forest, Longuemare.

[3] Martha, Japy frères, Brouhot et Cie.

[4] Voir page 171.

On utilise également de petites dynamos avec accumulateur pour le départ; elles sont à courant continu et ne dispensent ni des bobines d'induction, ni des connexions complexes.

Le *refroidissement* se fait par ailettes, avec ou sans ventilateur, avec ou sans circulation d'eau. La circulation est obtenue par thermo-siphon ou au moyen de petites pompes rotatives. L'emploi des radiateurs permet de conserver presque indéfiniment la même quantité d'eau.

La *transmission* consiste à passer des 600 à 1.600 tours par minute du moteur au nombre de tours des roues motrices qui peut varier, avec les vitesses et les roues, de 0 à 600. On peut d'abord considérer que l'effet par tour de la machine est constant; la puissance sera donc proportionnelle à sa vitesse de rotation, jusqu'à un certain taux à partir duquel elle croîtra moins vite pour passer bientôt par un maximum au delà duquel, la vitesse croissant encore, la puissance diminuerait. La démultiplication permet de maintenir, entre la vitesse du moteur et celle du véhicule, le rapport désirable; pour les courses de vitesse on recherche le maximum de puissance et, dans ce but, on laisse le moteur s'emballer, malgré le mauvais rendement thermique.

Entre le moteur et le carter de changement de vitesse, s'intercale l'appareil d'embrayage, généralement composé d'un cône de friction dont la partie femelle se confond avec le volant; MM. Chenard et Walcker ont imaginé un dispositif ingénieux qui évite que la poussée, nécessaire à l'adhérence, se transmette à l'arbre moteur, et qui ménage en outre, par des joints universels robustes, une certaine flexibilité à la transmission du couple moteur entre la machine et le changement de vitesse.

Le train balladeur de Levassor est principalement utilisé, avec trois ou quatre vitesses et une marche arrière par pignon interposé. Cependant on peut encore citer l'embrayage de deux en deux vitesses par segments élastiques intérieurs (de Dion-Bouton), celui de M. Crouan qui utilise de petits servo-moteurs à huile comprimée, celui de M. Krebs à adhérence électro-magnétique.

Il faut encore relier le cadre aux roues motrices en passant par l'intermédiaire de la suspension.

On utilise dans ce but une ou mieux deux chaînes à rouleaux (Panhard et Levassor, Mors, etc.), ou encore une élégante transmis-

sion à la Cardan comprenant un long axe ainsi articulé qui attaque par roue d'angle le différentiel d'où partent deux autres axes à doubles cardans conduisant les roues, qui sont réunies par un solide essieu arrière (de Dion-Bouton). Cette disposition permet de conserver aux roues motrices leur écuanteur, nécessaire au bon travail des rais, tandis que l'emploi d'un seul axe longitudinal à la Cardan, supprime cet écuanteur, le carter du différentiel devant servir d'essieu commun aux deux roues et supporter les ressorts. En tout cas, des bielles articulées ne laissent à l'essieu d'arrière qu'un mouvement circulaire convenable pour éviter la trop grande variation de longueur des chaînes ou l'effort longitudinal exagéré de l'axe à la Cardan.

Un système, qui tend à disparaître, consiste à recourir à la transmission par courroies simples ou multiples, associées ou non à un train balladeur (Delahaye, de Dietrich). Parfois des dispositions convenables assurent à la courroie une tension déterminée.

La *régulation* se fait par l'intermédiaire d'un régulateur et à la main. Elle peut agir par tout ou rien sur les soupapes d'échappement, en les laissant fermées (Panhard et Levassor, Phenix), ou sur les soupapes d'admission. Elle peut aussi régler progressivement l'admission par action sur la levée des soupapes d'admission (Léon Bollée) ou par étranglement (Centaure de M. Krebs). Enfin, on obtient un résultat, peut-être encore plus satisfaisant, en réglant progressivement la levée des soupapes d'échappement et stratifiant pour ainsi dire le mélange tonnant sur un matelas de gaz brûlés, qui le réchauffent et conservent le taux de la compression, tout en évitant la succion des huiles de graissage au moment de l'aspiration (moteur Amédée Bollée des automobiles de Dietrich, Gillet-Forest, Eldin, de Dion-Bouton, derniers modèles, etc.). Tout récemment, MM. Grouvelle et Arquembourg ont imaginé un régulateur basé sur la succion exercée par l'aspiration trop rapide du moteur, quand il s'emballe : l'action se transmet, par l'intermédiaire d'un piston à bords flexibles, à un petit clapet qui interrompt l'arrivée d'essence au gicleur. L'appareil, très sensible, est facilement réglable.

Comme on a pu le constater, plusieurs des problèmes, soulevés par l'adaptation des moteurs à explosion aux automobiles, sont heureuse-

ment résolus et tendent vers une ou quelques solutions simples, universellement adoptées. Cependant les transmissions actuelles sont encore extrêmement dispendieuses et absorbent près de la moitié du travail du moteur; de plus, elles procèdent par changements brusques et non progressifs de vitesse; enfin, les modes d'action susceptibles de faire varier le travail du moteur, soit par l'intermédiaire d'un régulateur automatique, soit à la main, laissent encore à désirer : le tout ou rien est économique, mais brutal; l'étranglement de l'admission modifie la compression et n'amène pas toujours à un régime stable; l'action progressive sur l'échappement, plus logique et plus maniable, commence à être pratiquement essayée. Dans le même ordre d'idées, la variation progressive des vitesses au moyen de poulies extensibles à ressort, tendant convenablement la courroie qui les réunit[1], peut présenter un sérieux intérêt.

Les moteurs à deux temps, jusqu'à présent délaissés par l'automobilisme, luttent déjà, pour les grandes puissances, avec les moteurs à quatre temps; nous ne doutons pas qu'ils ne soient l'objet de tentatives prochaines : ils permettent de supprimer les soupapes d'échappement et de les remplacer par des lumières ouvertes dans les cylindres mêmes, jouant ainsi le rôle de tiroir; quant aux pompes à air nécessaires, la possibilité de leur donner un grand volume et de faire varier le calage de leur manivelle fournira un moyen d'augmenter la compression et, par suite, rendra pratique le réglage par étranglement à l'admission. Ainsi régulation plus facile, extrême simplification du mécanisme par suppression de toutes les soupapes non automatiques, tels sont les avantages qui nous paraissent mériter l'essai du moteur à deux temps.

Il n'est pas douteux que la difficulté de régler agréablement la vitesse des automobiles ne soit pour beaucoup dans les folies, dont les automobilistes sérieux ont été les premiers à souffrir et dont ils doivent à tout prix prévenir le retour : le décret réglementaire du 10 mars 1899 est libéral et tutélaire; il faut en imposer le respect à tout le monde, aux fous de vitesse comme aux maires rétrogrades.

[1] Système de Montais, essayé par M. Hirsch, et récompensé par la Société d'encouragement; système Fouillaron.

Un moyen de réglage, aussi facile et aussi efficace que ceux dont on dispose pour la machine à vapeur, ferait beaucoup dans le sens désirable.

L'Exposition de 1900 a été l'occasion d'un grand nombre d'essais pratiques, dont M. Forestier a interprété les données d'une façon magistrale; nous y joindrons quelques-uns des résultats d'un des concours de l'alcool, organisés par M. le Ministre de l'agriculture (novembre 1901).

Au point de vue des vitesses, le record sur route choisie et par kilomètre lancé est actuellement de 109 kilomètres à l'heure (Darracq, moteur Buchet); il atteint 112 kilom. 8 par mille lancé (1.609 m. 32. — Mors)[1].

Il est intéressant de noter les vitesses successivement atteintes dans les parcours prolongés : de Paris à Bordeaux (527 kilomètres), Levassor développe, en 1895, avec un moteur de 4 chevaux, à deux cylindres, une vitesse de 24 kilomètres; en 1899, une automobile de 16 chevaux, à quatre cylindres, Panhard et Levassor, atteint 48 kilomètres. En 1901, sur le même parcours, les records des différentes catégories sont les suivants :

	À L'HEURE. — kilomètres.
Mors (au-dessus de 650 kilogrammes)	85
Panhard et Levassor (de 400 à 650 kilogrammes)	65
Renault (au-dessous de 400 kilogrammes)	55
De Dion-Bouton (motocycle)	65

Paris-Berlin (1901) nous donne, sur 1.106 kilomètres, les résultats suivants[2] :

	À L'HEURE. — kilomètres.
Mors (40 chevaux)	71
Panhard et Levassor (voiture légère, 12 chevaux)	54
Renault (voiturette, 8 chevaux)	59
De Dion-Bouton (motocycle, 8 chevaux)	59

Le tableau qui suit, résume une série d'essais de consommation, sur parcours prolongés et variés; il s'agit exclusivement d'essence de pétrole.

(1) Tous ces records sont dépassés; M. Serpollet a atteint 120 kilomètres; une automobile Mors à essence, 125.

(2) Paris-Vienne s'est couru sur un parcours très accidenté et peu comparable aux précédents (1902).

NATURE DU VÉHICULE.	CONSTRUCTEURS.	FORCE en CHEVAUX.	POIDS		VITESSE MOYENNE.	CONSOMMATION D'ESSENCE	
			à VIDE.	en CHARGE.		par KILOMÈTRE.	par TONNE-KILOMÈTRE.
		chevaux.	kilogr.	kilogr.	kilom.	litres.	litres.
Motocyclette	WERNER	1 1/4	42	100	34	0^{l} 029	0^{l} 290
Motocycle	ROCHET-PETIT	2 1/4	190	275	21	0 0257	0 093
Quadricycle	*Idem*	2 3/4	200	300	30	0 0372	0 124
Voiturettes	GLADIATOR	3	250	400	25	0 057	0 129
Idem	DE DION-BOUTON	3	395	560	27	0 0785	0 139
Voitures à 2 places	PEUGEOT	3,5	500	750	22	0 0825	0 110
Idem	DELAHAYE	4,5	500	689	23	0 0816	0 120
Voitures à 4 places	*Idem*	6	970	1,320	28	0 095	0 072
Idem	PANHARD ET LEVASSOR	12	850	1,170	34	0 109	0 094
Voitures à 6 places	*Idem*	8	950	1,470	26	0 187	0 125
Idem	BROUHOT	9	1,220	1,760	22	0 207	0 117
Idem	DELAHAYE	6	900	1,420	29	0 110	0 077
Omnibus	PANHARD ET LEVASSOR	12	2,800	4,310	19	0 346	0 081

Il est intéressant de comparer entre eux les automobiles fonctionnant à l'essence de pétrole, à l'alcool carburé, à l'alcool de la régie; dans le tableau suivant, leur rendement thermique a été déterminé en supposant que la tonne-kilomètre exige un travail moyen de 30.000 kilogrammes-mètres en terrain varié.

CONSTRUCTEURS.	POIDS TOTAL de la voiture chargée.	NATURE du COMBUSTIBLE.	CALORIES par KILOGRAMME ou par litre.	CONSOMMATION PAR TONNE-KILOMÈTRE en kilogramme ou en litre.	CALORIES par TONNE-KILOMÈTRE.	RENDEMENT THERMIQUE p. 100.	PRIX DU COMBUSTIBLE (1) PAR TONNE-KILOMÈTRE	
							dans Paris.	hors Paris.
	kilogr.		par kilogr.					
CHABOCHE	2,670	Houille.	8,000	0^{k} 300	2,400	2.6	0^{f} 0135	0^{f} 0090
			par litre.					
SERPOLLET	1,560	Pétrole.	8,800	0^{l} 183	1,610	4.4	0 1025	0 0659
DELAHAYE	689	Essence.	7,480	0 120	898	7.8	0 080	0 060
G. RICHARD	712	Alcool à 50 p. 100.	6,696	0 111	743	9.5	0 055	0 044
PANHARD ET LEVASSOR	961	*Idem.*	6,696	0 111	743	9.5	0 055	0 044
BARDON	1,103	Alcool à 90 p. 100.	5,906	0 137	672	10.5	0 068	0 055
DELAHAYE	1,352	Alcool à 50 p. 100.	6,696	0 095	636	11.1	0 047	0 038
Idem	1,420	Essence.	7,480	0 077	576	12.2	0 054	0 038
PANHARD ET LEVASSOR	4,310	*Idem.*	7,480	0 081	606	11.6	0 057	0 040

(1) On suppose la houille à 45 francs et 30 francs la tonne; l'essence à 0 fr. 70 et 0 fr. 50 le litre; l'alcool carburé à 50 p. 100 et pur à 90 p. 100, à 0 fr. 50 et 0 fr. 40 le litre; le pétrole lampant à 0 fr. 56 et 0 fr. 36 le litre.

Comme on le voit, le rendement thermique est incomparablement supérieur dans les machines à explosion; à ce point de vue, les automobiles à vapeur ne supportent la comparaison qu'à cause du bon marché relatif de leur combustible. L'alcool carburé[1] à 50 p. 100 peut dès à présent lutter avec l'essence. Les rendements s'améliorent avec la puissance des moteurs; enfin les transmissions par courroie (Delahaye) sont vraisemblablement assez économiques, pourvu que la courroie soit suffisamment longue et bien tendue.

A la suite des concours de 1900, M. Forestier a essayé de calculer le prix de revient industriel du voyageur et de la tonne-kilomètre, pour les omnibus et les camions automobiles; il compte le voyageur et ses bagages pour 100 kilogrammes, c'est-à-dire pour la dixième partie de la tonne. Si l'on appelle P le prix du véhicule exprimé en milliers de francs et p le prix du personnel et du graissage par jour, tous les frais fixes, indépendants du chemin parcouru, peuvent, d'après M. Forestier, être représentés par la formule suivante[2], *pour un jour*, en comptant dans l'année trois cents jours ouvrables :

$$0,807\,P + 1,10\,p.$$

Nous calculerons approximativement le nombre de tonnes-kilomètres en multipliant la vitesse moyenne par 8, nombre d'heures maximum qui puisse être consacré à une marche normale. Si l'on divise le total précédent par ce produit, on aura les frais fixes afférents au véhicule, auxquels il conviendra d'ajouter le prix du combustible (et de l'eau) par tonne-kilomètre.

[1] Le dernier concours de consommation à l'alcool a classé premières les voitures Chenard-Walcker, secondes les voitures Bardon (circuit du Nord). La compression dans les machines Chenard-Walcker atteint 10 kilogrammes.

[2] Voici les détails : P, prix d'acquisition.

Intérêts et amortissement par jour	$\frac{12}{100}\frac{P}{300}$.
Personnel et graissage	p.
Frais généraux	$\frac{10}{100}\left(\frac{12}{100}\frac{P}{300}+p\right)$.
Entretien et réparations	$\frac{11}{100}\frac{P}{300}$.

Le tableau suivant donne quelques résultats relatifs à des camions à essence, à alcool carburé, à vapeur; il montre que l'essence et l'alcool carburé peuvent lutter désormais avec la vapeur et commencent à donner des rendements nettement plus économiques que la traction animale.

CONSTRUCTEURS.	TONNES-KILOMÈTRES UTILES PAR JOUR.	PAR TONNE-KILOMÈTRE UTILE.			NATURE du COMBUSTIBLE.
		FRAIS FIXES.	COMBUSTIBLE ET EAU.	TOTAL.	
TRACTION ANIMALE.......	//	//	//	0f 20 à 0f 25	//
DE DION-BOUTON [1]......	240	0f 13	0f 05	0f 18	Coke.
PEUGEOT [1]............	150	0 11	0 12	0 23	Essence.
PANHARD ET LEVASSOR [1]...	184	0 11	0 11	0 22	*Idem.*
DE DIETRICH [1].........	237	0 093	0 078	0 17	*Idem.*
PANHARD ET LEVASSOR [2] ..	106	0 167	0 089	0 25	Alcool à 50 p. 100.
SOCIÉTÉ NANCÉENNE [2]	246	0 091	0 067	0 16	*Idem.*

(1) Concours de 1900 à Vincennes; essence à 0 fr. 50 le litre.
(2) Concours de l'alcool, 1901; alcool carburé à 50 p. 100, à 0 fr. 40 le litre.

Deux omnibus ont également concouru en 1900, l'un à essence, l'autre à vapeur; le prix du voyageur-kilomètre aurait atteint, pour l'un, 0 fr. 04, et, pour l'autre, 0 fr. 02.

Parallèlement aux machines à explosion, l'automobilisme a utilisé les **moteurs à vapeur** et les dynamos à courant continu, actionnées par accumulateurs. Nous avons déjà résumé, par comparaison avec les automobiles à essence, les résultats économiques fournis par les moteurs à vapeur; les voitures de tourisme sont généralement du type Serpollet avec chaudière à vaporisation instantanée, chauffée au pétrole lampant; un récent perfectionnement leur a été apporté : à l'arrêt, l'eau surchauffée, au lieu de s'échapper par la soupape de sûreté, commence par s'emmagasiner dans un cylindre, contenant un piston qui comprime un matelas d'air, et joue ainsi le rôle d'un accumulateur. Les brûleurs s'accommodent aussi fort bien des alcools industriels.

Les grands omnibus, les tracteurs et les camions sont chauffés généralement au coke et utilisent des chaudières multitubulaires, à

plus grand volant d'eau que la chaudière Serpollet. Nous nous bornerons à citer les véhicules de Dion-Bouton, Scott, Bollée, Turgan-Foy.

Les **automobiles électriques** ont droit de cité depuis les applications dont nous sommes redevables à MM. Jeantaud, Krieger, etc. Ils constituent l'idéal du véhicule à traction mécanique, notamment dans les villes, par la douceur de leur propulsion, le facile changement de vitesse que procurent les combinateurs, le couple puissant dont on dispose au démarrage et la grande variation de puissance qui permet d'aborder toutes les côtes. Mais ces avantages précieux sont malheureusement compensés par le poids des accumulateurs, qu'il est nécessaire de porter, et par leur fragilité; ils sont très sensibles aux trépidations et surtout aux variations, souvent excessives, de débit qu'on leur impose, et leur entretien est extrêmement onéreux; il dépasse de beaucoup le prix de leur charge journalière; on peut estimer la consommation d'énergie électrique à 84 watts-heure par tonne-kilomètre totale.

Tout récemment, M. Krieger a pu couvrir 307 kilomètres à une vitesse moyenne de 20 kilomètres par heure (Paris à Châtellerault) sans rechargement; sa voiture en pleine charge pesait 2.500 kilogrammes, dont 60 éléments Fulmen de 1.250 kilogrammes. Cette batterie avait une capacité de 400 ampères-heure à une tension moyenne de 120 volts (154 volts au départ, 105 à l'arrêt). Il est facile de calculer que l'appareil moteur a développé une puissance moyenne de 4 chev. 4[1]; on sait qu'une automobile de même poids et de même vitesse moyenne aurait exigé environ 7 chevaux avec un moteur à essence; on saisit ici sur le fait l'avantage mécanique de la transmission électrique. Sur les côtes, l'intensité a atteint 75 ampères, correspondant à environ 12 chevaux-vapeur.

L'exposition de Vincennes présentait une curieuse application d'un omnibus à trolley sur route ordinaire; le trolley automoteur, du système Lombard-Gérin, précédait la voiture et semblait la traîner; il était à cheval sur deux fils et mû par un petit moteur triphasé, syn-

[1] 28 ampères.

chrone avec celui de la machine; l'automobile évitait parfaitement les autres véhicules, les croisait et les dépassait avec élégance.

Il nous paraît superflu de faire ressortir que l'avenir de la locomotion électrique sur route dépend des perfectionnements à apporter aux accumulateurs : il les faut légers, solides, de grande capacité; les progrès déjà accomplis sont notables, mais loin encore du but à atteindre.

Il peut être question d'utiliser les moteurs à essence pour actionner une dynamo motrice, qui enverrait son courant dans une ou plusieurs réceptrices; c'est un mode de transmission qui serait à peine plus pesant, et peut-être moins destructeur d'énergie, que les transmissions mécaniques; quelques essais ont été tentés, jusqu'à présent sans succès, dans ce genre mixte, parfois combiné avec des accumulateurs servant de réserve et de volant. Nous croyons savoir que des tentatives sérieuses vont être reprises dans cette direction.

En résumé, l'industrie moderne des automobiles a pris réellement son essor en France; elle est dans une période d'augment et de prospérité qui, à notre avis, serait encore plus caractérisée, si des accidents trop nombreux et les imprudences trop évidentes de quelques-uns des nouveaux adeptes de l'automobilisme ne venaient indisposer périodiquement l'opinion publique contre le nouvel instrument de promenade et de transport. La plupart de ces accidents sont dus à des excès de vitesse et au mépris le plus absolu des lois de la force centrifuge, qui se venge à sa façon; quelques-uns ont pour cause évidente l'inexpérience ou l'affolement, ou encore le défaut de prévision de certains conducteurs; enfin, un certain nombre d'accidents (et non des moins graves) doit être rapporté à des défauts de construction, appareils de direction trop faibles ou mal agencés, freins à action très instantanée, mais incapables d'un effort efficace et prolongé, mauvaise distribution du poids sur les essieux moteurs et directeurs.

Quoi qu'il en soit, l'industrie automobile est prospère en France et nos exportations atteignent dès à présent un nombre respectable de millions; il suffit d'avoir goûté les charmes d'un voyage en automobile, à vitesse raisonnable, pour être assuré que le nouveau moyen de

locomotion se répandra de plus en plus, à mesure que les progrès mécaniques permettront la construction de voitures solides, confortables et accessibles aux bourses modestes; mais il faut, d'une part, que la police des routes réprime les excès de vitesse, d'autre part, qu'elle ne moleste pas indistinctement les bons et les mauvais chauffeurs, tout en réclamant des charretiers et des conducteurs de voiture à chevaux la simple application des règlements, et par exemple de prendre la droite, de ne pas dormir en chemin et d'allumer les lanternes la nuit.

Classe 32.

MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS.

C'est à M. Salomon, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Est, qu'est dû le rapport sur la Classe 32, qui comprend toutes les voies ferrées, chemins de fer à voie normale, à voie étroite, tramways; c'est un magistral exposé de l'état actuel de la plus importante industrie du siècle, celle des transports; les spécialistes y trouveront des détails circonstanciés sur tous les appareils exposés et une critique sobre et discrète des routines ou des innovations ainsi révélées.

L'inventeur de la voiture automobile sur rails est Trevithic; on a récemment célébré à Camborne le centenaire de son invention qui date de 1801.

C'est en 1804 que la première locomotive a commencé à desservir les houillères du pays de Galles, traînant 10 tonnes de houille à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure. M. Amiot[1], ingénieur en chef des mines, adjoint à la Direction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, fait ressortir à juste titre que, dès 1825, Seguin et Stephenson ont doté le nouveau tracteur de ses organes fondamentaux, chaudière tubulaire, tirage forcé, coulisse de changement de détente et de marche : la *Fusée* pesait 4 tonnes et en traînait 38, à 25 kilomètres à l'heure. Aujourd'hui, nos locomotives de rapides traînent 250 et même

[1] *Journal des transports*, 1901; Les progrès des chemins de fer au XIXe siècle.

300 tonnes à 100 kilomètres, nos locomotives de marchandises remorquent 1.000 tonnes à 40 kilomètres, et ces machines, qui pèsent seulement de 50 à 60 tonnes, sont de plus en plus flexibles, et produisent sur la voie des réactions de plus en plus atténuées.

Le tableau suivant donne un aperçu de l'état des grandes lignes de chemins de fer en Europe au 1er janvier 1901 :

PAYS.	NOMBRE de KILOMÈTRES EXPLOITÉS			ACCROISSEMENT EN KILOMÈTRES en 1900.		RECETTES PAR KILOMÈTRE.			ENTRETIEN PAR KILOMÈTRE.		MATÉRIEL pour 100 KILOMÈTRES.	
	Totaux.	Par myriamètres carrés.	Par 10,000 habitants.	Totaux.	P. 100.	Totale.	Marchandises.	Voyageurs.	Par kilomètre.	En p. 100 de la recette.	Locomotives.	Wagons de voyageurs.
		kilom.	kilom.	kilom.		francs.	francs.	francs.	francs.			
Angleterre......	35.186	11,4	8,6	171	0,5	3.400	1.700	1.700	1.938	57,7	55	130
Allemagne......	51.391	9,5	9,1	880	1,7	2.350	1.480	870	1.309	55,7	36	72
Autriche-Hongrie.	36.883	5,4	8,0	608	1,6	1.350	1.000	350	764	56,6	22	48
Espagne.......	13.357	2,7	7,4	70	0,5	//	//	//	//	//	//	//
France........	42.827	8,0	11.1	612	1,4	1.900	1.045	855	988	52,0	27	71
Italie..........	15.787	5,5	5,0	64	0,4	//	//	//	//	//	//	//
Russie.........	48.107	0,8	4,2	665	3,4	//	//	//	//	//	//	//
Suède.........	11.320	2,7	22,4	597	5,3	//	//	//	//	//	//	//

Total pour l'Europe : 283.525 kilomètres, avec un accroissement de 5.188 kilomètres en 1900, soit 1,8 p. 100.

Comme on pouvait le prévoir, ce sont les pays neufs, comme la Russie, les États-Unis, qui ont vu, dans la dernière décade, leurs chemins de fer s'accroître le plus rapidement; les petits pays, très civilisés et relativement épargnés par les dépenses de la guerre, sont aussi en tête du progrès, tels que la Belgique qui possède 22 kilomètres de chemin de fer par myriamètre carré et a cependant augmenté son réseau de 2,3 p. 100 en 1900, la Suède, qui a 22 kilomètres de voie ferrée par 10.000 habitants.

Si l'on considère l'ensemble des voies ferrées d'un pays largement desservi comme la France, on peut constater que le développement des tramways compense la diminution d'accroissement des lignes d'intérêt général; en 1900, sur un total de 46.180 kilomètres, nous en possédons 37.776 d'intérêt général, 4.652 d'intérêt local, 3.742 de

tramways; mais les accroissements sont en sens inverse : nous avons en construction 2.124 kilomètres d'intérêt général, 1.758 d'intérêt local, 2.169 de tramways. Depuis 1830, la courbe d'accroissement a d'abord monté jusqu'en 1850, puis elle s'est établie non loin d'une horizontale comportant un accroissement moyen de 9.000 kilomètres par décade, avec un maximum de 11.000 kilomètres, de 1880 à 1890.

Ainsi, en résumé, l'industrie de la traction sur voie ferrée est en pleine prospérité, en plein accroissement, même dans les pays qui semblent déjà largement dotés à ce point de vue; c'est encore à la vapeur que l'on s'adresse pour assurer la traction sur les lignes d'intérêt général et nous verrons plus loin que la locomotive a subi, depuis dix ans, les plus notables perfectionnements tant au point de vue de sa puissance que de son fonctionnement économique et de la douceur de ses réactions sur la voie. Sur les lignes d'intérêt local et les tramways, la vapeur ne lutte plus à armes égales avec l'électricité. Partout où les municipalités intelligentes ont laissé pénétrer le trolley, la traction électrique à matériel léger, souple, économique et se pliant à des départs fréquents, se substitue à tous les autres moyens de traction. On a vu, page 107, que le trolley a même assuré, dans des conditions satisfaisantes, un service public d'automobiles, sur routes ordinaires et sans rails, à Vincennes pendant l'Exposition.

Le matériel roulant a, lui aussi, subi un commencement d'unification d'ordre général, dont nos ingénieurs paraissent avoir eu une certaine peine à s'accommoder; nous voulons parler de l'emploi des longs wagons à bogies, plus souples et mieux suspendus, susceptibles d'un confort plus moderne et d'une surveillance plus facile que le matériel plus léger et plus fractionné.

En même temps que l'on demandait aux locomotives plus de puissance et de vitesse, aux wagons plus de poids et de confort, la voie se pliait à ces nouvelles exigences; les rails en acier se substituaient aux rails en fer et leur poids total, et par mètre courant, était intentionnellement majoré, pour augmenter la stabilité et la résistance.

Tels sont les progrès, pour ainsi dire évidents, que nous devons hautement reconnaître au début de cette note; mais ici les efforts sont si

nombreux, les résultats ont une répercussion si notable sur la vie de l'humanité tout entière, que les moindres symptômes doivent être interprétés avec soin, si l'on veut tenter de prévoir l'avenir le plus prochain. Or, l'un de ces symptômes les plus caractéristiques réside dans la recherche passionnée de la vitesse; l'attention publique compare, avec une curiosité narquoise, les progrès de nos trains rapides à ceux des automobiles sur route : le 120 à l'heure est à l'ordre du jour. Or, il ne faut pas nous dissimuler que de pareilles vitesses supposent une puissance que ne dépasseront pas facilement nos locomotives, dans leur forme actuelle; la chaudière trop lourde devra, la première, être modifiée totalement; les ingénieurs appellent de leurs vœux des foyers d'un entretien moins délicat et moins dispendieux; les automobiles sur route qui font du 120 à l'heure en palier et en ligne droite, possèdent des machines de 100 chevaux, pesant à peine 3 à 400 kilogrammes, pour un véhicule de 1.000 kilogrammes, et reposent sur la voie la plus souple, sinon la plus solide; nous voulons parler des gros pneumatiques.

Cette recherche de la vitesse, qui a pris l'apparence peu recommandable d'un sport souvent fort dangereux, cache au fond la poursuite d'un problème social de premier ordre : la vie tout entière est modifiée, dès que le rayon d'action rapide est augmenté. Le jour où nous pourrons aller à Marseille, y traiter nos affaires et en revenir dans la soirée, nous aurons transformé une fois de plus l'existence moderne de deux grandes cités. Telles de nos grandes compagnies de chemins de fer, qui se sont laissé distancer par leurs rivales à ce point de vue, feront bien de modifier dans le plus bref délai leurs horaires et leur matériel, sous peine d'être traitées de rétrogrades et même de tardigrades.

Nous allons sommairement passer en revue l'état actuel de la voie, des signaux, des locomotives et des wagons, tel que nous le révèlent les appareils et engins exposés par les principales compagnies et les grands constructeurs.

La tendance est aux *rails* Vignole ou à champignons dissymétriques, en acier d'une certaine dureté, de 11 à 18 mètres de longueur,

pesant de 38 à 48 kilogrammes par mètre courant, comportant en moyenne 7 traverses par 5 mètres, et soigneusement éclissés ou même soudés entre eux. L'État utilise depuis 1893 les traverses en acier doux Wautherin; le Nord profite de l'entrevoie pour relier les abouts des traverses à des madriers longitudinaux, évitant les déplacements latéraux.

Les *aiguillages* présentent un grand nombre de détails ingénieux : transmission par tubes se mouvant dans des boîtes à billes qui assurent une grande douceur de manœuvre, même au delà de 400 mètres; ressorts destinés à amortir les chocs; appareils contrôleurs et assurant le calage de l'aiguille dans ses positions extrêmes, etc.

Les *signaux* vont aussi se perfectionnant et tendent avec évidence à un fonctionnement entièrement automatique.

Pour le moment, on en est à un système mixte dans lequel le contrôle est confié généralement à des appareils électriques, l'initiative ainsi restreinte étant laissée aux agents. Signalons les sémaphores Sarroste, l'enregistreur des signaux sonores Grégoire, le photoscope Jousselin-Chaperon qui prévient de l'extinction des signaux optiques, enfin le sifflet automatiquement actionné sur les locomotives du Nord par l'avertisseur dit *à crocodile*. Ces deux derniers appareils ont déjà reçu la sanction d'un très grand nombre d'applications.

Il en est de même des appareils de verrouillage et enclenchement à serrure centrale Bouré et d'un grand nombre de modifications des systèmes Saxby et Farmer, Viguier, Barba, etc.

L'application au block-système suscite les mêmes observations; il y a encore, en général, combinaison entre la main-d'œuvre et l'automatisme; l'électricité, l'air et l'eau comprimés servent de servomoteurs, d'avertisseurs, d'appareils d'enclenchement; citons les systèmes Metzger, Sarroste et Lopé, Lartigue, P.-L.-M. n° 3 et Hall, A. Chassin pour l'emploi de bâtons-pilote, Siemens et Halske à dynamo, Krizik, Westinghouse (électro-pneumatique), International pneum. Railw. Signal C° (air comprimé seulement à 1 kilogramme), etc. Eu égard au progrès des transmissions et de la machinerie électrique, et à certains essais tels que ceux du métropolitain, il nous paraît évident que nous nous dirigeons vers l'automatisme complet des signaux,

qui sera obtenu sans difficulté, quand on aura nettement séparé le côté servo-moteur du côté avertisseur et rendu aussi légères que possible les pièces en mouvement; le rôle des agents devrait être absolument indépendant et réduit à une surveillance contrôlée du jeu des appareils automatiques.

En terminant ce qui a trait aux appareils de sûreté, nous regrettons le défaut de détails relatifs aux *accouplements automatiques*, qui se sont répandus aux États-Unis et y ont déjà économisé un grand nombre d'accidents. Il est à souhaiter que ces appareils ingénieux, et déjà pratiquement éprouvés, se répandent en Europe et y rendent les mêmes services qu'aux États-Unis.

La construction des *locomotives*, qui sont devenues des objets de première nécessité, donne une notion de la puissance industrielle des différentes nations; le tableau suivant permet à ce point de vue quelques comparaisons :

PAYS.	NOMBRE TOTAL DE LOCOMOTIVES en service (1900).	PRODUCTION ANNUELLE APPROXIMATIVE.	EXPORTATION.
Allemagne	18.291	2.300	28 p. 100.
Autriche	5.152	450	//
Belgique	4.400	350	//
États-Unis	37.000	3.153	14 p. 100.
France	11.600	300	//
Grande-Bretagne	20.570	?	37 millions de francs.
Colonies anglaises	10.039	//	//
Hongrie	2.272	//	//
Italie	2.966	//	//
Russie	9.553	700	//
Suède	1.200	//	//

Comme on le voit, les trois grands pays producteurs sont les États-Unis, l'Angleterre et l'Allemagne; la Russie suffit dès à présent à ses propres besoins. La France exportait jadis des locomotives et des wagons en Espagne, en Italie et en Russie; M. Salomon ne voit aucune raison technique à la diminution de notre exportation; on nous per-

mettra de faire des vœux pour que notre construction soit économique, rapide et toujours dans la voie du progrès incessant.

Ce progrès se traduit actuellement, en matière de locomotive, par l'emploi généralisé du bogie, qui lui communique une grande flexibilité et évite tout porte-à-faux à l'avant. Quatre cylindres compound, généralement distribués de façon que les deux cylindres à haute pression commandent un des essieux moteurs, et les deux autres à basse pression actionnent à 180 degrés le second, permettent l'emploi de la vapeur à haute pression (jusqu'à 16 kilogrammes) et d'une détente très prolongée. Un système, analogue au dépiquage des bateaux à vapeur, donne, au moment du démarrage, le moyen d'envoyer directement la vapeur de la chaudière dans les cylindres à basse pression, et de rendre indépendant l'échappement de ceux à haute pression; les robinets nécessaires sont souvent mus par un servo-moteur, empruntant, par exemple, de l'air comprimé au réservoir du frein Westinghouse. Une des combinaisons les plus usitées est celle que M. Salomon caractérise par le symbole 2/4, deux essieux moteurs, un bogie en avant. Une autre, qui permet d'atteindre une puissance encore supérieure, admet en outre un essieu porteur à l'arrière avec le symbole 2/5; c'est le type «Atlantic» de Baldwin.

Quand on a besoin d'une adhérence exceptionnelle, on recourt à un système articulé, admettant par exemple, comme le système Mallet, quatre essieux moteurs, groupés deux par deux, et susceptibles de prendre une convergence suffisante pour passer dans les courbes; il existe plus de 400 locomotives Mallet.

Les *chaudières* ont été surélevées sans inconvénient et leur axe domine parfois la voie de 2 m. 80; leur tubulure est encore en laiton en Angleterre, en acier doux et souvent à ailettes (Serves) partout ailleurs; la boîte à feu, à ciel plat ou en berceau, est en cuivre ou en acier. D'intéressants essais de surchauffe de la vapeur sont poursuivis en Allemagne et en Russie; le système Borsig, notamment, dans lequel le surchauffeur, placé à droite et à gauche de la boîte à fumée, reçoit directement un courant de flammes venant du foyer par un tube de grande section, qui se ferme aux arrêts et pendant le soufflage, paraît procurer une économie appréciable de combustible.

En Russie, 38 p. 100 des locomotives sont chauffées avec les résidus de naphte de Bakou (Mazout), au moyen d'éjecteurs à jet annulaire conique.

Le châssis en fer forgé (Baldwin), ou en tôle avec pièces en acier moulé pour entretoiser les longerons, se marie aux roues et aux bogies au moyen de ressorts, articulés entre eux par des balanciers qui assurent la bonne répartition des charges. Le jeu latéral des bogies est à rappel pendulaire (pesanteur) ou à ressorts. La disparition des masses en porte-à-faux et l'équilibrage, naturellement obtenu en calant les cylindres à basse pression à 180 degrés des cylindres à haute pression, ont extraordinairement atténué les réactions de la locomotive sur la voie.

En résumé, les progrès patents des dix dernières années se caractérisent par l'extension sans cesse croissante du bogie, d'origine américaine, par la multiplication des cylindres permettant une plus grande utilisation et une plus haute pression de la vapeur, par la meilleure répartition des efforts sur la voie, qui a conduit à la construction de locomotives de puissance sans cesse croissante; le type 2/5 nous paraît atteindre en ce genre un effort maximum qui sera difficile à dépasser. Un progrès, encore naissant, mais appelé à un avenir immédiat, consiste dans la surchauffe de la vapeur, qui tout au moins évite la nécessité de réchauffer les cylindres. Mais la chaudière des locomotives est à remplacer ou tout au moins à remanier; elle éprouve, sous sa forme actuelle, une fatigue exagérée, notamment dans la boîte à feu, dont le métal (cuivre ou acier) subit rapidement des avaries coûteuses à réparer. C'est un admirable instrument, presque parfait, partant destiné, dans un avenir plus prochain qu'on ne croit, à être remplacé par une autre conception; car sa propre évolution paraît presque terminée.

Les *tenders* à bogies sont les plus souples; notons l'ingénieuse disposition de ceux, fort employés en Angleterre, qui possèdent une écope de prise d'eau pendant la marche; leur emploi nécessite l'établissement de bassins prolongés entre rails.

Les *wagons à voyageurs* présentaient, vers 1857, un poids mort d'environ 235 kilogrammes par voyageur de première classe et 125

kilogrammes pour les troisièmes; les longs parcours, l'augmentation de vitesse, la diminution du temps et du nombre des arrêts, ont successivement exigé le cabinet de toilette, le wagon-restaurant, les wagons-lits, tous d'importation américaine.

Il y aurait mauvaise grâce à insister sur la lutte engagée entre les compagnies et le public, les unes déplorant le surcroît de poids mort, l'autre réclamant à grands cris plus de confort, plus de vitesse et des diminutions incessantes de tarifs. C'est le public qui, en somme, a triomphé; mais au prix de quelle bigarrure de matériel de jour et de nuit, de quel legs désastreux pour les petites lignes, qui seront chargées, durant de longues années encore, d'user ce matériel démodé et coûteux.

Actuellement les grands wagons à intercommunication, à bogies, se transformant facilement en matériel de nuit, où l'on puisse économiquement reposer, sans gêner outre mesure ses voisins, ont un poids mort de 500 à 700 kilogrammes par voyageur de première classe, de 250 kilogrammes pour les troisièmes. Il faut doubler ces poids, la nuit, car le nombre de voyageurs, confortablement étendus, diminue de moitié. Les wagons-restaurants pèsent 36.500 kilogrammes pour 34 couverts et ne peuvent guère servir par jour que quatre fournées, soit 136 voyageurs.

Le chauffage à la vapeur ou au thermo-siphon, l'éclairage à l'électricité ou à l'acétylène complètent ces notables améliorations qui ont coïncidé avec une diminution très sensible du prix des longs parcours. Nous appelons de nos vœux, en France, une radicale modification pour les tarifs des wagons-lits; il est vraiment abusif de penser que nous payons, de Paris à Nice, un lit confortable dix fois ce qu'il coûte, pour une nuit, en Amérique et presque autant que le supplément réclamé de Paris à Saint-Pétersbourg.

Notons, à propos des *wagons à marchandises*, le principe du remarquable attelage supplémentaire Holtein (Moscou-Kazan), que l'augmentation de puissance des tracteurs rend nécessaire sur certains profils. Deux câbles circulent latéralement et sont agrafés à chaque wagon: leur extrémité, près de la locomotive, est attelée à deux longs cylindres à air comprimé, formant ressort.

Les *freins continus* sont toujours à air comprimé ou à vide. Les perfectionnements ont porté sur la rapidité d'obéissance de ces ingénieux appareils, le long des trains prolongés; tels sont les nouveaux freins Westinghouse à action rapide, à grande vitesse; les freins Smith-Hardy à vide automatique, etc. Il nous paraît que, comme pour les signaux de sûreté, les inventeurs feront bien de distinguer le servo-moteur destiné à actionner le frein, de l'organe transmetteur qui gagnerait à être électrique.

Parmi les *chemins de fer à voie étroite*, nous devons une mention aux chemins de montagne, notamment à *crémaillère*, qui se sont multipliés en Suisse, au grand avantage des touristes et des habitants.

D'ailleurs ces chemins de fer se confondent de plus en plus avec les *tramways* et nous allons voir qu'ici la vapeur rétrocède déjà devant l'électricité et ses multiples applications. Le détail de nos tramways est instructif à ce point de vue :

	1900.	1901.	ACCROISSEMENT.
	kilomètres.	kilomètres.	p. 100.
Chevaux	620	430	"
Vapeur	2.727	3.124	12,7
Air comprimé	136	212	35,5
Électricité	625	1.323	52,7

On saisit sur le fait la substitution de la traction mécanique à la traction animale et, en outre, la prédominance de l'électricité sur les autres moyens utilisés; c'est, en immense majorité, à l'emploi du trolley ou de l'archet que l'on doit cet accroissement, qui est encore plus frappant si l'on compare le nombre de kilowatts utilisés à la traction; il était de 1.525 en 1893, de 28.000 en 1900, de 64.383 en 1901. Encore convient-il de rappeler que quelques rares municipalités ont proscrit l'emploi du seul moyen économique et commode d'utiliser l'électricité à la propulsion des tramways, provoquant ainsi l'emploi de procédés lourds, dangereux ou coûteux, qui ont multiplié les ruines et les accidents, sans grand profit pour l'esthétique.

En Allemagne, MM. Siemens et Halske revendiquent l'honneur d'avoir établi la première ligne électrique, en 1879, à l'Exposition industrielle de Berlin; elle avait une longueur de 300 mètres; en 1900,

les tramways allemands comptent 4.520 kilomètres et utilisent 75.608 kilowatts. Ils sont en général à conducteur aérien, avec trolley ou archet; d'après les ingénieurs de l'Allgem. Elec. Gesells., le conducteur aérien réalise une économie de 30 à 40 p. 100 sur la traction animale; le conducteur souterrain coûte 5 à 8 fois plus cher; les accumulateurs nécessitent un poids et un entretien considérables; les plots sont capricieux et parfois dangereux.

Les avantages du fil aérien sont encore constatés par les ingénieurs de la maison Schuckert : rapidité, régularité, sécurité, propreté, élasticité, diminution du poids, de la chaleur, de la fumée, du bruit, service aussi fréquent qu'on le désire, voiture par voiture, facilité d'aborder des rampes jusqu'à 10 p. 100, entretien minime.

Les États-Unis avaient, en 1880, 4.000 kilomètres de tramways; en 1890, 13.000; en 1900, 33.000. Sur 63.000 voitures, il y en a 55.000 électriques; le matériel le plus perfectionné nous vient d'Amérique, et l'on peut citer à ce point de vue les brevets Thomson-Houston.

Ainsi, la démonstration est faite pour les chemins de fer à voie étroite, et de petite longueur; ils ont tout intérêt à multiplier les départs et à rendre automobile chaque voiture; dans ces conditions l'électricité a, dès à présent, supplanté ses rivales (vapeur, air comprimé, machines à combustion et à explosion) partout où des circonstances spéciales ne sont pas venues entraver l'emploi des fils conducteurs aériens, du trolley ou de l'archet.

Quand la circulation est peu intense, il y a même intérêt à se passer des rails et à recourir aux automobiles proprement dits; nous avons donné, page 106, quelques prix de revient qui montrent que les pouvoirs publics ont eu raison de prévoir des cas où les subventions départementales peuvent favoriser cette solution, moins dispendieuse que les chemins de fer d'intérêt local.

Sur des parcours plus étendus, on peut prévoir que les courants électriques continus deviendront coûteux ou exigeront des stations de commutatrices; l'exemple de la station de ce genre, improvisée aux Champs-Élysées par le Métropolitain de Paris et procurant une sérieuse économie, est instructif à ce point de vue. Mais la combinaison vrai-

ment efficace est encore à l'étude et ni les essais récents du chemin de fer de Chamonix, ni ceux de l'Ouest ou de l'Orléans ne nous paraissent de nature à en hâter la solution. Elle nous paraît exiger la propulsion de grands automobiles à bogies moteurs, par des courants triphasés, transformés sur l'automobile lui-même; de récents essais, poursuivis en Allemagne, donnent à penser que les vitesses, pratiquement abordables sous cette forme, dépasseront celles des rapides actuels et même des locomotives isolées. La ligne militaire de Berlin à Zossen a servi à des essais qui ont été considérés comme satisfaisants, jusqu'à une vitesse de 130 kilomètres; au delà de cette vitesse, la voie, qui pèse 32 kilogrammes par mètre courant de rail, est insuffisante comme stabilité, et les automobiles éprouvent des mouvements de lacets qui rendent pénibles et dangereuses les vitesses de 145 et 160 kilomètres; on va donc lui substituer une voie plus solide et pesant au moins 40 kilogrammes par mètre de rail.

Les résultats déjà obtenus sont fort instructifs; la résistance de l'air croît moins vite qu'on ne le supposait; cependant à des vitesses de 145 à 160 kilomètres, des automobiles de 90 tonnes absorbent de 840 à 950 chevaux, ce qui conduit à un coefficient global de traction de 25 à 26 kilogrammes par tonne, tandis qu'à 20 kilomètres ce coefficient est seulement de 4 à 6 kilogrammes[1].

Classe 33.

MATÉRIEL DE LA NAVIGATION DE COMMERCE.

Nous devons à M. Henri Estier, rapporteur de la Classe 33, une étude consciencieuse et détaillée de la navigation de commerce; pour la navigation de plaisance et le sauvetage, il a provoqué la collaboration de MM. Arman de Caillavet et Jules Clavaud.

M. Estier rappelle qu'en 1816 une entreprise anglaise relia les États-Unis à l'Europe par une ligne régulière de voiliers; la traversée durait souvent plus de 40 jours; le 4 septembre 1900, le *Deutschland*

[1] *Revue générale des Sciences*, 15 juillet 1902, p. 597.

de la ligne Hambourg-Amérique a fait la traversée en 5 jours 7 heures 38 minutes, à une vitesse moyenne de 42 kilom. 5 à l'heure. Le progrès a été surtout saisissant dans la période 1878-1889; la dernière décade est principalement marquée par l'accroissement du nombre des navires à vapeur et de leur jauge; une tonne de bateau à vapeur parcourt annuellement une distance trois fois plus grande qu'une tonne à voile. Il en résulte un accroissement extraordinaire dans la faculté de transport des principales flottes.

PAYS.	1890.		1900.	
	À VOILE.	À VAPEUR.	À VOILE.	À VAPEUR.
	mille tonneaux.	mille tonneaux.	mille tonneaux.	mille tonneaux.
Angleterre	3.771	8.044	2.583	11.094
Allemagne	667	931	522	1.873
France	309	806	292	986
États-Unis	1.524	535	1.191	971
Norvège	1.266	245	918	673
Italie	655	295	466	443

Ce tableau est suggestif par lui-même; on y voit que la Norvège, qui sert de camionneur maritime aux autres pays, suivant la forte expression de M. Estier, a presque triplé sa flotte à vapeur; l'Allemagne l'a franchement doublée, l'Angleterre et l'Italie accusent un gain d'un tiers environ, la France seulement d'un quart. Quant aux États-Unis, leur flotte est surtout fluviale et lacustre; le progrès a été enrayé par les tarifs protecteurs. Il est probable qu'avec l'exportation croissante des matières premières et des produits manufacturés, et surtout après le percement de l'isthme de Panama, nous les verrons subitement atteindre et peut-être dépasser toutes leurs rivales.

Notons encore qu'en 1890 l'Allemagne achetait à l'étranger les quatre cinquièmes de ses navires; en 1898, la même proportion est réduite au tiers et le personnel naviguant atteint 42.600 hommes.

Le tableau de la page suivante[1] réunit les navires à grande vitesse les plus récents.

[1] *Génie civil*, novembre 1901.

DATES.	NAVIRES.	COMPAGNIES.	LONGUEUR.	LARGEUR.	PUISSANCE.	VITESSE MOYENNE EN KILOMÈTRES.
					chevaux.	
1901.	*Savoie*	Transatlantique. . .	177m50	18m28	22.000	37k 040
1901.	*Kronprinz-Wilhelm*.	ND. Lloyd	202 00	20 10	33.000	40 744
1900.	*Deutschland*.	Hambourg-Amerika .	208 80	20 27	36.000	41 690
1899.	*Océanic*	White Star.	214 70	20 72	27.000	36 114
1897.	*Kaiser-Wilhelm*. . . .	ND. Lloyd	197 70	20 12	28.000	39 838

On connaît le luxe avec lequel ces grands transatlantiques ont été aménagés; sur *la Savoie*, le chauffage des cabines est électrique et utilise les nouvelles résistances métallo-céramiques.

Parmi les nouveautés se rattachant à la navigation de commerce, notons l'emploi des turbines à vapeur et notamment de turbines Parsons de grande puissance; l'application de l'embrayage magnéto-électrique de Bovet, notamment au touage à vapeur; les diverses tentatives de traction mécanique, funiculaire ou électrique, sur les rivières et canaux; et, dans un autre ordre d'idées, l'application du compas Heit, enregistrant la route suivie; l'appareil Né, contrôleur des déplacements du gouvernail; les premiers essais de télégraphie sans fil entre navires, pour prévenir les collisions en temps de brume.

Les appareils de sauvetage présentent un intérêt spécial et poignant, si l'on pense aux catastrophes, encore trop nombreuses, que nous avons à enregistrer tous les ans. M. Roper, de Londres, exposait des radeaux formant pont-promenade, faciles à mettre à la mer, pontés et aménagés pour recevoir des vivres; les canots insubmersibles, les flotteurs automatiques, les modèles de cloisons étanches, les feux de signaux, les lance-amarres, les appareils à épandre de l'huile pour apaiser les vagues, étaient nombreux et souvent de belle construction.

L'emploi de plus en plus généralisé des chaudières multitubulaires a certainement contribué à diminuer le nombre des désastres, pour ainsi dire anonymes, que doit produire périodiquement l'explosion des chaudières à grand volant d'eau et à gros effets dynamiques, qu'utilisent encore un grand nombre de navires à vapeur.

Le sauvetage des coques à grande profondeur a fait aussi des progrès. M. Petit exposait des appareils pour plongeurs, susceptibles de descendre à 60 mètres.

En résumé, le matériel de la navigation de commerce est tributaire de tous les progrès que la métallurgie et la mécanique générale réalisent; la substitution de la navigation à vapeur à la navigation à voile se continue avec une vitesse croissante; dès à présent le tonnage-kilomètre des navires à voile ne représente plus pour l'Angleterre la douzième partie de celui des navires à vapeur. La tendance est aux navires de grande dimension et, pour certaines traversées, aux vitesses de 40 kilomètres et plus, entraînant une puissance formidable des appareils moteurs. Il est nécessaire que certains de nos ports soient munis des passes et des bassins indispensables à ces énormes tonnages.

Classe 34.

AÉROSTATION.

Depuis dix ans, l'aérostation a suscité beaucoup d'efforts généreux, beaucoup de tentatives périlleuses, trop souvent suivies de désastres; il ne nous paraît pas que, jusqu'à présent, les résultats acquis soient en proportion avec ces efforts et cette dépense de vies humaines; tel nous semble aussi l'avis du commandant Paul Renard, rapporteur de la Classe 34.

L'*aérostat dirigeable* de MM. Renard et Krebs[1] n'était pas sensiblement inférieur à celui de M. Santos-Dumont; il convient seulement de noter que la source d'énergie est maintenant plus pratique et susceptible d'un fonctionnement plus prolongé; on sait qu'elle consiste en moteurs à explosion, à la fois robustes, légers et faciles à approvisionner pour quelques heures, sous forme d'essences riches en calories; une terrible catastrophe, toute récente encore, donne à penser qu'il faudra surveiller tout particulièrement les gaz d'échappement de ces

[1] Le ballon *la France* (1884-1885) a développé une vitesse propre de 6 m. 50. Les expériences, récemment tentées ou en cours, permettent de penser qu'on pourra bientôt approcher de 10 mètres.

machines, au point de vue du danger d'incendie, que le voisinage d'une énorme masse d'hydrogène doit toujours faire redouter.

M. Hervé exposait une série d'ingénieux appareils de *stabilisation* et de *déviation*, pour les voyages aérostatiques *au-dessus de la mer;* ses récentes ascensions méditerranéennes, en compagnie de M. le comte de la Vaulx, ont prouvé l'efficacité, tout au moins partielle, de ces flotteurs et plongeurs.

MM. Teisserenc de Bort, Besançon et Hermite se sont dévoués à l'œuvre surtout scientifique des *ballons sondes,* destinés à emporter jusqu'à 15.000 mètres d'altitude des appareils enregistreurs, dont les indications sont des plus importantes pour l'histoire de la physique du globe. Ils ont été secondés dans leurs efforts par M. Jules Richard, dont on connaît les ingénieuses méthodes d'*enregistrement automatique.*

Les *vues photographiques* de M. Boulade et ses appareils méritent aussi l'attention admirative que le Jury leur a prêtée, eu égard aux difficultés spéciales que présente la photographie en ballon.

La mention du matériel perfectionné des *ascensions captives* n'est pas déplacée ici, puisque les ballons captifs sont en général une des attractions des Expositions. Ce matériel s'est singulièrement allégé et simplifié, depuis que les armées et les marines de guerre y ont eu recours; le transport et la remorque peuvent procéder des moyens dont dispose l'automobilisme; quant au gonflement des aérostats, la liquéfaction récente de l'hydrogène permettra peut-être d'y procéder au moyen des bouteilles d'acier à gaz liquéfiés. En tout cas, il est déjà utilisé sous forme de gaz comprimé.

L'Aéro-Club exposait une carte des ascensions exécutées par ses membres; on y remarquait la trajectoire de Paris en Suède, suivie par le ballon de MM. de Castillon de Saint-Victor et Mallet et qui, en 1900, constituait le *record* (1.300 kilomètres) *des ascensions en ballon libre.*

Il n'y a encore rien à dire des *appareils d'aviation,* plus lourds que l'air; les travaux de M. Marey nous ont prouvé cependant que nos machines sont désormais plus puissantes, à poids égal, que les oiseaux de mer au vol le plus énergique; mais, pour bien calculer, il faut ajouter au poids de la machine celui de son conducteur et de l'appa-

reil d'aviation et c'est là tout d'abord que notre infériorité apparaît; sans compter celle qui provient de la coordination insuffisante de nos divers organes mécaniques; nous n'avons pas encore de servo-moteurs comparables au système nerveux des oiseaux. Cependant il ne faut pas se décourager; la navigation sous-marine entre dans une phase définitivement pratique; le problème de l'aviation est beaucoup plus compliqué; il n'est pas insoluble.

ONZIÈME GROUPE.

MINES. — MÉTALLURGIE.

Classe 63.

EXPLOITATION DES MINES, MINIÈRES ET CARRIÈRES.

La Classe des mines[1] comprend toutes les matières premières de la métallurgie, depuis les métaux précieux jusqu'au fer; les matériaux de construction et d'ornement, gypse, pierre à bâtir, marbres, granites, etc.; une grande partie des minéraux de la grande industrie chimique, pyrites, sels de soude et de potasse, nitrates; enfin, une partie également notable des gemmes, telles que le diamant et le corindon. Il faut y ajouter la houille et, plus généralement, les combustibles minéraux, sur l'emploi intensif desquels est basée toute notre industrie moderne, puisque, dans l'état actuel de la science, c'est notre plus grande source d'énergie et dechaleur.

La production de la houille dépasse à tel point celle de tous les autres produits miniers qu'il convient d'insister surtout sur les questions multiples que soulève son exploitation. Le tableau ci-contre résume, en *millions de tonnes*, la production annuelle des principaux pays : il rend compte de 710 millions de tonnes, sur une consommation totale évaluée à 763 millions. L'accroissement moyen annuel a été de 4,44 p. 100; il est remarquable qu'en moyenne l'accroissement des accroissements annuels soit très considérable; si cette sorte d'accélération continuait à croître dans les mêmes proportions, elle justifierait les prévisions les plus pessimistes, au sujet de l'épuisement prématuré de nos réserves de combustible minéral. Mais, d'une part, notre époque a vu naître les moyens économiques d'utiliser le travail des chutes d'eau à grande distance; l'augmentation à prévoir du prix de la houille

[1] Le rapport de la Classe 63 ne nous est pas parvenu en temps utile.

incitera l'industrie de la houille blanche, comme on l'a déjà appelée, à se développer de plus en plus. D'autre part, nous sommes loin d'avoir déjà mis en valeur les immenses gisements de combustibles minéraux que recèle le sol de l'Amérique du Nord, de la Chine, de la Nouvelle-Galles du Sud, des Indes anglaises, de la Russie. Tout au plus est-il permis de prévoir le déplacement des centres de production, ou plutôt d'en constater dès à présent les effets économiques. En 1895, l'Angleterre venait en tête des pays producteurs; en 1900, les États-Unis l'ont nettement dépassée, et cette rupture d'équilibre s'effectue dans des conditions bien faites pour en accélérer les conséquences : avant la dernière grève, les États-Unis produisaient la tonne de houille sur place à un prix moyen de 6 fr. 80, bien inférieur à celui que peuvent atteindre l'Angleterre et, *a fortiori*, tous les autres pays d'Europe. Ainsi, comme nous le constaterons plus loin, les gisements américains sont non seulement très riches, mais très faciles à exploiter et surtout susceptibles d'être abordés fructueusement par les moyens d'exploitation mécanique intensive, qui sont d'ailleurs dans le génie de la race américaine, car ce n'est certes pas le prix de la main-d'œuvre qui permet de réaliser aux États-Unis une pareille économie.

PRODUCTION DE LA HOUILLE.

PAYS.	EN MILLIONS DE TONNES.		AUGMENTATION P. 100 POUR SIX ANS.
	1895.	1900.	
États-Unis	175	243	40
Angleterre	193	229	18
Allemagne	79	111	40
Autriche-Hongrie	//	40	//
France	28	34	21
Belgique	20	23	15
Russie	//	16	//
Australie	//	5	//
Japon	//	5	//
Espagne	//	3	//
Chine	//	1	//
Totaux		710	//
Moyenne		//	30 [1]

[1] Soit 4.4 p. 100 par an.

On a vu que la France ne vient qu'au cinquième rang des pays producteurs et seulement au troisième pour l'accroissement annuel de sa production, qui est de 3.5 p. 100; or, sa consommation, qui a été en 1900 de 49 millions de tonnes, s'est accrue en moyenne annuellement de 5 p. 100; ainsi, plus que jamais, nous sommes tributaires de nos voisins et principalement de l'Angleterre et de la Belgique, qui importent chez nous 8 et 6 millions de tonnes.

Les mines de houille françaises occupent environ 155.000 ouvriers, dont 116.000 mineurs du fond; la répartition par régions naturelles est la suivante :

	PRODUCTION. — millions de tonnes.	OUVRIERS. — nombre.
Nord et Pas-de-Calais	20	85.000
Loire	4	20.000
Sud (Gard, Tarn et Aveyron)	4	21.000
Bourgogne et Nivernais	2	9.000
Bourbonnais, Centre, Alpes, Hérault, Vosges, Ouest, Provence	4	20.000
TOTAUX	34	155.000

La main-d'œuvre nous coûte en moyenne de 6 à 7 francs par tonne; on sait que les questions ouvrières sont d'autant plus délicates, en matière de mines, que, d'une part, plusieurs États se sont arrogé de temps immémorial une sorte de droit régalien sur la concession et même sur la propriété des mines; d'autre part, l'esprit de corps est très développé chez les mineurs; il se traduit même par une série de coutumes locales et par un langage spécial; le *glück auf* des mineurs allemands (bonheur là-haut) en est une touchante manifestation. Cet esprit de corps donne aux grèves, en matière de mines, une fréquence et une acuité dont nous n'avons pas le monopole.

Et cependant cette grande industrie exige l'intervention active du capital; les installations sont coûteuses; la partie mécanique s'y développe de plus en plus; nous sommes loin des galeries romaines, travaillées au feu et au pic. Les mines exigent des puits solides et profonds, succédant aux sondages d'exploration et pouvant lutter contre les infiltrations de nappes d'eau à haute pression; ces puits doivent être munis

de puissantes machines d'extraction, à la fois rapides et dociles, d'appareils perfectionnés d'épuisement et d'aérage. Les transmissions d'énergie par l'air comprimé, par les courants électriques, doivent maintenant pénétrer dans toutes les galeries, pour y actionner les treuils et les trains, dans tous les chantiers pour mettre en mouvement les perforatrices et les haveuses. Au jour, la préparation mécanique, la production des agglomérés et du coke, la rapide manutention et l'enlèvement d'un produit encombrant nécessitent aussi de vastes et dispendieuses installations.

On voit que l'art des mines est tributaire de plusieurs industries et dépend aussi du progrès d'un assez grand nombre de sciences : la métallurgie, la mécanique et l'électricité, d'une part; la géologie et la minéralogie, pour rechercher les gîtes et en reconnaître le contenu; la physique et la chimie pour lutter contre le grisou et composer les explosifs convenables.

Nous allons sommairement passer en revue les progrès notables des dix dernières années. Le grand essor des **études géologiques**, dans le monde entier, a permis à M. Suess d'esquisser son admirable description du globe terrestre, « la face de la Terre », dont M. de Margerie nous a donné une traduction, complétée par une foule de notes originales; en même temps, l'avancement ou la terminaison des **cartes géologiques** des principaux pays a tout au moins coïncidé avec un développement extraordinaire des recherches de mines dans les pays neufs, dont on apprenait à connaître le sous-sol; les États-Unis, la Russie, l'Algérie et la Tunisie sont des exemples frappants de ces coïncidences; quant aux pays plus vieux, déjà très explorés et exploités, ils ont bénéficié des progrès de la tectonique, branche de la géologie qui cherche à définir les relations des strates entre elles et à démêler les mouvements complexes, qu'elles ont subis, dans les régions de plissements; la prolongation de certains bassins houillers sous des strates stériles, souvent puissantes, poussées sur leurs couches exploitables, suscite en ce moment une émulation de recherches, justifiée par le grand intérêt économique et scientifique du problème à résoudre (bassin du Nord et du Pas-de-Calais). La prolongation du bassin ferrifère de Lorraine (Genreau, Rolland) peut aussi servir d'exemple probant.

IMPRIMERIE NATIONALE.

L'étude micrographique des roches éruptives et cristallophylliennes, enfin douée de moyens précis de diagnostic, portera fruit dans l'examen rapide des matériaux de construction et d'empierrement, trop souvent mal choisis et mal triés.

En France, la carte géologique au 1/80 000e du territoire, commencée en 1867 sous les auspices d'Élie de Beaumont, touche enfin à sa terminaison; ce travail colossal n'aurait jamais abouti sans la collaboration active et désintéressée de tous les savants français, qui ont montré que, devant un but patriotique bien défini, toute compétition de personnes ou de fonctions savait s'effacer et, au besoin, se sacrifier dans l'intérêt commun. Ce grand effort nous a remis sur un pied d'égalité avec la plupart de nos voisins; mais il est nécessaire qu'il soit suivi, à bref délai, d'un nouvel effort non moins considérable : l'Allemagne, l'Angleterre, la Suisse, la Belgique ont commencé des relevés géologiques à grande échelle, susceptibles de donner un nouvel essor aux recherches de mines, de carrières et d'amendements agricoles, et par conséquent d'augmenter la richesse commune. En France, nous manquons d'un canevas topographique, permettant ce relevé géologique précis et détaillé. Et cependant nous possédons un service géographique, admirablement outillé pour procéder à un pareil travail cartographique, déjà en partie amorcé. Ce défaut de carte précise à grande échelle a déjà coûté au pays plusieurs fois sa valeur totale, en rendant pénibles et onéreux les avant-projets de tous les travaux publics, et en donnant un prétexte aux divers ministères pour gaspiller les ressources budgétaires, sous forme de cartes soi-disant spéciales à chaque service.

Les travaux de **forage** pour recherches ou jaillissement d'eaux artésiennes ont bénéficié des progrès de la métallurgie; les tiges de descente et les outils sont à la fois plus légers et plus résistants; l'emploi de couronnes de diamants noirs, solidement sertis et agissant par rotation dans un courant d'eau ascendant, qui entraîne les détritus, a permis de pousser rapidement le travail dans les roches les plus dures; il a aussi l'avantage de donner des témoins cylindriques des strates traversées, plus faciles à étudier que les débris

souvent trop fins dus à l'action du trépan. Le sondage de Schladebach (1.748 m.) est détrôné depuis 1895 par celui de Paruschowitz (Haute-Silésie), foré dans le terrain houiller, qui a 2.003 mètres de profondeur.

Le **fonçage** des puits par congélation a récemment remporté quelques éclatants succès dans le bassin ferrifère de Meurthe-et-Moselle [1], où il s'agissait de traverser des nappes d'eau sous pression, situées au-dessus des couches de minerai.

La distribution d'énergie par **courants triphasés à haute tension** s'introduit dans plusieurs mines, tout au moins dans celles qui n'ont pas à redouter le grisou ou même dans les galeries d'entrée d'air de ces dernières. Ainsi, à la Grand'-Combe, un treuil de 120 chevaux, une pompe de 100 chevaux, un ventilateur Rateau souterrains sont actionnés, jusqu'à 5 kilomètres de distance, par un courant triphasé à 5.000 volts.

La maison Siemens et Halske exposait une perforatrice à transmission flexible, dont le moteur, enfermé dans une caisse, est déposé sur le sol à quelques mètres de l'outil; on sait que les courants triphasés peuvent actionner des moteurs sans balais, à induit en court circuit, sans aucun contact mobile, évitant, par conséquent, la production d'étincelles de rupture.

L'A.-E.-G. exposait, elle aussi, des pompes Riedler à grande vitesse, directement attelées à l'électro-moteur; leurs soupapes à grande section et leur petit encombrement justifient le grand nombre d'applications (mines de Bochum, etc.) qui en a été fait.

Les **accumulateurs d'air comprimé** se sont largement développés pendant la dernière décade; c'est à eux qu'on recourt en général pour actionner les perforatrices et les haveuses mécaniques dans les mines à grisou. L'air est comprimé avec ou sans injection intérieure; la compression est généralement modérée; dans le système américain, qui

[1] *Annales des Mines*, t. XVIII, 1900, p. 379.

évite toute injection d'eau, l'air circule à environ 120 degrés; il est très sec et ne détériore pas les accumulateurs.

L'eau **comprimée** a été récemment l'objet d'une grande application pratique (perforatrices Brandt du Simplon)[1].

Quel que soit le mode employé pour actionner les servo-moteurs, la grande révolution économique qu'il nous faut signaler comme déjà accomplie dans les mines de houille des États-Unis et s'introduisant plus lentement, mais sûrement, dans celles de l'ancien continent, consiste dans la substitution du travail mécanique au travail à la main pour le havage : c'est l'opération qui a pour but de trancher la houille et aussi le gypse et la pierre de taille. Les perforatrices mécaniques existaient et étaient déjà largement utilisées en 1889; l'introduction pratique des **haveuses mécaniques** leur est postérieure; nous renvoyons aux revues techniques[2] pour l'étude de détail des nombreux appareils dès à présent utilisés; le premier brevet (Elisha Simkins) date de 1858, puis viennent ceux de Brown (1873), de Lechner (1876), de Harrison (1877); aujourd'hui, on compte 500 brevets, 9 modèles très répandus, 3.000 machines en fonctionnement aux États-Unis; le résultat économique bien net a été de doubler la production d'un ouvrier et, en outre, d'augmenter le nombre d'hommes pouvant être employés le long d'un front d'attaque déterminé; c'est, au premier chef, un moyen d'exploitation intensive.

Il convient de faire remarquer que les haveuses américaines exigent une régularité d'allures que ne présentent malheureusement pas souvent nos propres mines; mais nul doute qu'on n'arrive à plier ces machines aux besoins variés qu'elles auront à satisfaire; déjà les haveuses américaines sont couramment employées à Marles; une transformation simple des perforatrices a permis, à Anzin, de poursuivre des essais intéressants, quoique moins probants.

La **lutte contre le grisou** continue à susciter des efforts consciencieux et d'ingénieuses inventions. Dans nos principaux centres, me-

[1] Voir p. 221, Classe 28. — [2] *Annales des Mines,* Mémoire de M. A. de Gennes, t. XVIII, 1900, p. 217.

nacés par ce fléau, le *traçage* à l'avance des quartiers infestés, qui permet d'aérer les massifs et d'y diminuer au moins superficiellement la pression du gaz inclus, l'*aérage* méthodique et abondant des fronts de taille, ont fait de grands progrès, notamment à Saint-Étienne.

Les *lampes de sûreté* procèdent toujours de la géniale invention de Davy; l'Exposition montrait dans ses détails une intéressante lampe à benzine (Friedmann-Wolf) à fermeture magnétique; le rallumage intérieur y est assuré par un ruban paraffiné en rouleau, portant 75 touches de phosphore; le récipient à benzine est rempli de ouate et contient un chargement calibré pour 10 à 12 heures de marche. Un nettoyeur mécanique agit rapidement sur le verre et la toile métallique.

Les méthodes de mesure du grisou (*grisoumètres*) comportent des appareils précis (éprouvette Le Châtelier, etc.) et d'autres approximatifs destinés à être employés et lus dans la mine même (lampe Chesneau, etc.); tout récemment, un de nos ingénieurs des mines, M. G. Léon, a établi un indicateur électrique pouvant se prêter à un enregistrement continu et à des signaux à distance, et que l'auteur considère comme donnant une précision supérieure à deux millièmes; il est basé sur la différence de conductibilité des fils de platine, lorsqu'on les porte au rouge, dans l'air pur et dans une atmosphère grisouteuse[1].

L'installation au jour a aussi bénéficié de grands progrès; l'Exposition nous montrait celles d'Anzin et des charbonnages de Mariemont et Bascoup, entièrement actionnées par dynamos; Aniche utilise le ciment armé pour ses silos à charbon et peut laver 2.000 tonnes par jour. D'une façon générale, on groupe en une seule grande agglomération les divers traitements destinés à desservir une mine.

Les *fours à coke* (Solway, Smet, Rumaux-Siebel, Collin, Carveï, Otto, etc.) sont, depuis une vingtaine d'années, des fours à vase clos, à récupération de sous-produits, benzols, ammoniaque et sulfate d'ammoniaque; M. Haller estime qu'en France seulement il en existait plus de 1.000 à la fin de 1900. Le marché des goudrons dont l'An-

[1] *Annales des Mines*, juillet 1902.

gleterre avait jadis le monopole, s'est généralisé, et les prix se sont tellement avilis qu'une certaine tendance se manifeste à abandonner ce genre de matériel un peu coûteux; il s'établira une sorte d'équilibre entre la demande des benzols et l'emploi des fours à récupération; à ce point de vue, l'utilisation de plus en plus répandue des alcools, carburés à la benzine, relèvera certainement le cours des benzols qui, après avoir valu 140 francs les 100 kilogrammes en 1897, étaient récemment tombés à 12 francs.

Les quelques détails que nous donnons, à propos de la Classe 64 (Métallurgie), sur la provenance et la consommation des principaux minerais métallifères, nous dispensent d'entrer dans de plus longs détails à leur sujet; nous insisterons seulement sur la production totale des métaux précieux, or, argent, platine, et sur la répartition des gisements de pétrole.

Le tableau ci-dessous, que nous devons à M. de Launay, professeur à l'École des Mines, donne la production de l'*or fin* dans le monde entier en 1890 et 1900.

	OR FIN. (en kilogrammes.)		VALEUR. (en millions de francs.)
	1890.	1900.	1900.
États-Unis	49.400	119.300	411
Australie	49.500	108.700	374
Canada	2.000	41.950	144
Russie	39.600	38.600	133
Mexique	1.500	14.100	48
Indes anglaises	2.500	13.800	47
Chine	8.000	6.400	22
Brésil	670	3.900	14
Colombie	4.500	3.460	12
Guyane anglaise	900	3.390	11
Hongrie	2.200	3.200	11
Transvaal	11.800	2.980	10
Corée	"	2.740	9
Guyane française	1.000	2.070	7
Japon	600	1.950	6,7
Chili	2.100	1.360	4,6
Pérou	150	1.130	3,9
Madagascar	"	1.040	3,5
TOTAUX	170.420	371.600	1271,7

On remarquera que, depuis dix ans, la production a plus que doublé, bien que le Transvaal ait passé de la première place à la douxième, à la suite de la guerre qui l'a ravagé; il faut donc compter prochainement sur une production triple.

L'*argent,* dont les cours continuent à s'avilir de plus en plus, a cependant beaucoup moins augmenté sa production; voici un tableau pour 1890 et 1900, également dû aux recherches de M. de Launay.

	ARGENT. (en mille kilogrammes.)	
	1890.	1900.
États-Unis	1.694	1.850
Mexique	1.211	1.794
Australie	258	683
Bolivie	301	324
Chili	123	179
Allemagne	182	168
Espagne	95	140
Canada	12	139
Totaux	4.876	5.277

Quant au *platine,* il vient principalement de l'Oural, qui a produit 2.833 kilogrammes en 1890 et 5.100 en 1900.

La production totale du **naphte** en 1900 a atteint environ 19 millions de tonnes de 1.000 kilogrammes (150 millions de barils de 125 kilogrammes environ); depuis 1897, la Russie, avec ses gisements inépuisables de Bakou, de Grosny, de Tschélekeu, tient la tête et a dépassé l'Amérique; en 1900, sa production s'est élevée à 9,6 millions de tonnes; celle des États-Unis, à 7,9 millions; les champs de Pennsylvanie s'épuisent, et c'est grâce à l'appoint de l'Ohio, du Texas, de la Californie que la production américaine ne s'abaisse pas encore plus rapidement. Ainsi, la Russie et les États-Unis produisent ensemble 17,5 millions de tonnes sur les 19 millions totaux; le reste se répartit entre la Galicie (0,30), la Roumanie (0.25), Sumatra, le Japon, le Canada, l'Allemagne.

En 1899, la Russie avait produit 8,6 millions de tonnes, et les États-Unis, 6,5, en tout 15 millions, au lieu de 17,5; en fait, la

production a à peu près triplé en vingt ans, avec un accroissement annuel moyen de 5,6 p. 100. Il est intéressant de comparer ces chiffres à ceux qui concernent la houille; on se rappelle que l'accroissement annuel moyen de consommation n'est que de 4,4 p. 100.

Les divers gisements ne donnent pas la même proportion de déchet; ainsi, les résidus de l'Ohio, de la Russie atteignent 50 p. 100; le *mazout* de Bakou est traité pour huile à graisser, paraffine, vaselines; néanmoins, les deux tiers sont brûlés dans les foyers de locomotives, de chaudières de bateau, etc.

En réalité, la composition des pétroles est très variée; on en distingue deux classes principales[1], ceux de la série aliphatique C^nH^{2n+2} (Pennsylvanie, Ohio, Canada, Roumanie) et ceux de la série des naphtènes C^nH^{2n} (Russie, Californie, Texas).

En somme, en 1899, les États-Unis ont produit avec leur naphte 4 millions de tonnes de pétrole brut, et la Russie seulement 1 million 825. Le brut donne 90 à 91 p. 100 de raffiné et coûte 2 francs de fret par tonne en plus, à cause de sa plus grande inflammabilité; d'où le système français de prime à la raffinerie. Depuis 1893, le brut paye 9 francs par quintal ou 7 fr. 50 par hectolitre; le raffiné, 12 fr. 50 ou 10 francs (tarif minmum).

Or, en 1900, la France a consommé 2.711.000 quintaux de pétrole brut des États-Unis, représentant 412.000 quintaux ou 592.000 hectolitres d'essence et 2.078.000 quintaux ou 2.597.000 hectolitres de pétrole lampant raffiné. De Russie nous est venu un total de 657.000 hectolitres brut, ayant donné 591.000 raffiné. La prime à la raffinerie s'est élevée à 8 millions de francs[2].

Le problème, que l'industrie du naphte cherche en ce moment à résoudre, consiste à améliorer l'utilisation des déchets (mazout), dont la valeur actuelle est infime par rapport au pétrole brut : M. Haller a énuméré divers moyens d'oxydation, qui ont été essayés pour augmenter le rendement en huile lampante; aucun n'a réussi sur une grande échelle; par contre, le chauffage à l'huile, à bord des navires, s'est sin-

[1] Haller, Rapport sur la Classe 87, p. 561 et suivantes.

[2] La consommation de la France en pétrole a donc été, en 1900, dix-neuf fois plus grande (en volume) que celle en alcool dénaturé qui a été de 200.000 hectolitres environ.

gulièrement répandu depuis quelques années; toutes les marines de guerre et de nombreuses compagnies l'utilisent ou l'essayent sur une grande échelle; les avantages évidents sont : l'économie d'emplacement (environ 40 p. 100), la facilité de chargement par pompes, la réduction sensible du personnel et la facilité de conduite du feu. Les sujétions sont la nécessité de soutes absolument étanches et certains dangers d'incendie.

Classe 64.

GROSSE MÉTALLURGIE.

Depuis l'âge du bronze, la production des métaux a servi de caractéristique pour désigner, d'un seul mot, l'état de la civilisation; nous avons passé l'âge du fer et nous voici à peu près définitivement classés dans celui de l'acier; encore doit-on faire ici une distinction et parler «des aciers», car nous commençons à en fabriquer au manganèse, au chrome, au nickel, etc.

En même temps que les produits de la métallurgie se perfectionnent, ils augmentent en quantité dans des proportions vraiment extraordinaires; ils ont presque doublé, dans le monde entier, durant la dernière décade, comme on peut le constater dans le tableau suivant :

PAR MILLE TONNES OU UN MILLION DE KILOGRAMMES.

ANNÉES.	FER.	PLOMB.	ZINC.	CUIVRE.	ÉTAIN.	ANTIMOINE.	NICKEL.
1889-1890.....	24.000	//	348	266	//	//	1
1899-1900.....	39.000	782	490	486	79	5 à 10	7

Les facteurs du progrès sont d'abord d'ordre scientifique : on commence seulement à étudier méthodiquement les métaux, leurs alliages et leurs combinaisons entre eux, à démêler les lois que suivent ces dissolutions de corps solides les uns dans les autres, à déterminer les isoméries, les points critiques de changement d'état. On a emprunté

à la minéralogie des appareils pour mesurer la dureté des corps; à la pétrographie, quelques-uns de ses procédés pour étudier au microscope les corps opaques et les cristaux en creux déterminés par une attaque superficielle; à la chimie, l'extension des lois de la dissolution; à la physique, l'étude précise des hautes et des basses températures, des dilatations, de la conductibilité et de l'aimantation; enfin à la mécanique, les machines d'essais par traction, par compression, par flexion et par choc. Tout un monde nouveau de données s'est révélé à nous et, de cette masse encore un peu confuse de documents, nous voyons déjà se dégager des méthodes précises, qui remplaceront à brève échéance les procédés empiriques du temps passé.

Le traitement direct des minerais au four électrique nous a déjà donné une foule de métaux rares, et en a vulgarisé un, l'aluminium. En même temps, l'électrolyse par voie humide se substitue aux autres méthodes pour le raffinage du cuivre et du nickel. L'aluminothermie permet d'exercer une puissante action réductrice à haute température et s'applique en outre, par d'ingénieux tours de mains, aux opérations de soudure et de réparation sur place, ou de recuit local.

A côté des voies nouvelles, l'Exposition a permis de constater d'innombrables progrès dans les directions déjà frayées; le mémoire très complet de M. Lodin, rapporteur de la Classe 64, va nous permettre d'énumérer les plus remarquables.

Fer. — La production de la fonte de fer est d'environ 40 millions de tonnes; elle a augmenté de 62 p. 100 en dix ans; les trois grands pays producteurs sont les États-Unis avec 14 millions de tonnes (1899), l'Angleterre avec 10 millions et l'Allemagne avec 7 millions. Puis viennent la France et la Russie avec 2 millions et demi, la Belgique et le Luxembourg avec un million. L'accroissement décennal a été démesuré (263 p. 100) en Russie, énorme aux États-Unis (107 p. 100), considérable en Allemagne (79 p. 100), moyen en France (48 p. 100).

L'accroissement s'est surtout porté sur les aciers et fers fondus qui ont passé de 10 à 25 millions de tonnes. En France, cet accroissement s'est cantonné dans les usines voisines des grands ports

(78 p. 100) et en Meurthe-et-Moselle (67 p. 100). C'est le développement pour ainsi dire ininterrompu des procédés à pisé et sole basique qui explique cet accroissement de notre production lorraine : les minerais phosphoreux de cette région fournissent maintenant sans difficulté des aciers de bonne qualité, soit au Bessemer, soit au four Siemens-Martin. Il est curieux de remarquer que le Bessemer à revêtement basique magnésien (procédé Thomas et Gilchrist) a vu sa production augmenter depuis 1889 de 188 p. 100, tandis que, plus modeste, l'accroissement du Bessemer acide n'était que de 46 p. 100. L'Allemagne et la France sont les seuls pays où le procédé basique ait pris un pareil essor et représente environ le triple de la production du Bessemer acide.

Le traitement pour acier fondu au four à réverbère est aussi en pleine prospérité; il a même augmenté plus vite en France que le Bessemer (178 p. 100 au lieu de 125 p. 100); il y a à peu près égalité entre les produits des fours Martin à sole basique et à sole acide. Le phénomène inverse s'est révélé aux États-Unis, qui produisent trois cinquièmes de leur acier au Bessemer généralement acide, et deux cinquièmes au Martin généralement basique (70 p. 100).

La Suède mérite une mention spéciale; elle fabrique encore fonte, fer et acier au bois; ses produits de qualité supérieure comportent (1898) 550.000 tonnes de fonte, dont elle fait 300.000 de fer en barre, 100.000 d'acier au convertisseur et 150.000 d'acier sur sole. C'est de Suède que nous sont venus les remarquables travaux de M. Brinell sur la trempe, la résistance au choc et la dureté.

La production de la *fonte* est maintenant caractérisée par l'énorme capacité des hauts fourneaux, le refroidissement de leurs œuvres vives, la haute pression et la température élevée du vent, l'automaticité du chargement, son étanchéité et le meilleur emploi des gaz produits, après qu'on les a débarrassés soigneusement de leurs poussières. Les États-Unis nous ont montré, les premiers, l'économie réalisée par l'emploi de ces immenses appareils de 30 mètres de hauteur, 700 mètres cubes de capacité, soufflés (Carnegie Steel C°) par 10 tuyères d'air à 1 kilogramme de pression et 1.000 degrés de tempé-

rature[1]. Le Creusot, Pompey, etc., suivent cet exemple et possèdent des hauts fourneaux susceptibles de produire de 150 à 500 tonnes de fonte par 24 heures, suivant la richesse des minerais traités.

On a vu (Classe 20, p. 164) les efforts faits pour utiliser directement les gaz pauvres des hauts fourneaux dans des machines à explosion et l'énorme production d'énergie qu'on peut en attendre.

M. Lodin donne la composition d'une fonte de Meurthe-et-Moselle, produite à Longwy et destinée au convertisseur basique; elle est intéressante à noter avec 3 p. 100 de graphite, 3 p. 100 de carbone combiné; 0,25 de silicium; 0,4 de soufre; 2 p. 100 de phosphore en partie dû à quelques centièmes de scories du convertisseur ajoutées à la charge; enfin, 1,5 de manganèse.

L'usine de Saint-Louis, près Marseille, s'est fait connaître par les fontes spéciales qu'elle produit au haut fourneau; spiegel à 15 p. 100 et ferro-manganèse à 80 p. 100 de manganèse; ferro-silicium contenant jusqu'à 17 p. 100 de silicium; ferro-chrome jusqu'à 38 p. 100 de chrome, sont couramment fabriqués dans cette usine et servent utilement à la métallurgie de l'acier.

L'industrie du moulage absorbe en France environ le quart de la fonte produite; elle comporte d'intéressantes spécialités: grands tuyaux à frettes en acier, posées à chaud sur des nervures minces de fonte (Pont-à-Mousson), ou encore recouverts de fils d'acier de grande résistance, enroulés avec une tension de 20 kilogrammes par millimètre carré et ensuite soudés, puis recouverts d'asphalte (Aubrives), moulages pour cylindres de laminoirs et roues de wagon, en fonte trempée dans d'épais moules métalliques (Ganz, à Budapest), etc.

Le moulage en acier d'un grand nombre de pièces, exigeant une résistance considérable, commence à supplanter partiellement les produits en fonte; c'est ainsi que les établissements Capitain-Gény et Cie ont adjoint à leur fonderie un four Martin-Siemens de 4 tonnes.

C'est dans la fabrication et l'utilisation des *aciers* que nous trouvons

[1] Ces dimensions sont déjà dépassées : les derniers hauts fourneaux de Pittsburg absorbent 2.000 tonnes de charge par jour, ont une capacité de 750 mètres cubes; 16 à 20 tuyères insufflent par minute 1.700 mètres cubes d'air à 1.000 degrés et à une pression de 1 m. 25 de mercure; la coulée se fait en lingotières portées par des chaînes sans fin (Uehling).

pour ainsi dire condensé tout l'effort de la nouvelle métallurgie. La fusion au creuset, après cémentation ou puddlage des matières premières, fournit encore des aciers fins ou spéciaux pour outils et obus (Jacob Holtzer, Böhler, Crescent-Steel C° à Pittsburg, W. Jessop à Sheffield, etc.); on arrive à fondre à la fois plus de 6 tonnes de métal. Mais la fusion sur sole ou au convertisseur sont désormais capables de fournir des produits analogues.

La variante basique du procédé Bessemer date de 1878; mais Gruner en avait bien auparavant fait la théorie; on sait que le phosphore reste dans les scories basiques et peut ainsi être éliminé, tandis qu'il repasse constamment des scories acides dans le métal. Le procédé Thomas-Gilchrist a successivement triomphé de toutes les difficultés pratiques; on utilise actuellement des tuyères en magnésie (Creusot) qui permettent 60 à 100 coulées, tandis que les tuyères acides n'en comportaient que 25 à 35. On a appris à hâter la succession des opérations; les pertes de chaleur sont ainsi atténuées et on arrive à traiter au convertisseur des fontes qui ne contiennent que 1 p. 100 de silicium. En même temps, des grues-locomotives entraînent rapidement les poches de coulée vers des rangées de lingotières sur trucks, qui sont elles-mêmes immédiatement envoyées aux laminoirs; la chaleur conservée par les lingots permet de les réchauffer économiquement. Le service des scories a pris une importance d'autant plus grande qu'elles servent d'engrais phosphatés, après pulvérisation et enlèvement des grenailles métalliques. Les aciers produits oscillent entre un métal extra-doux contenant à peine quelques dix-millièmes de carbone et les aciers durs en contenant plusieurs centièmes. A Micheville, par exemple, l'acier doux numéro 5 (0,08 de carbone, 0,04 de phosphore p. 100) présente une résistance de 40 kilogrammes à la rupture, un allongement de 30 p. 100; l'acier dur va jusqu'à 74 kilogrammes et 15 p. 100; le recuit modifie peu ces chiffres, mais rend le métal moins cassant.

L'affinage sur sole, dans un four à réverbère avec gazogène et récupérateur, date de 1865; mais l'emploi des soles basiques est plus récent que son application au Bessemer; il comporte soit une simple fusion quand on mélange de la fonte à des riblons, soit un véritable

affinage, quand on se sert de minerai mêlé à la fonte. Sur sole basique, le minerai doit contenir tout au plus 3 à 4 p. 100 de silice. Diverses combinaisons permettent de multiplier et de simplifier les opérations : on introduit la fonte liquide, avec les précautions convenables (interposition de blocs de chaux), pour ne pas éroder la sole en magnésie; on peut commencer un traitement au Bessemer acide, et le terminer sur sole basique (Witkowitz); on peut aussi effectuer un transvasement d'un four à l'autre (Bertrand-Theil), quand on ne dispose pas d'une quantité suffisante de riblons. Un des procédés les plus intéressants qui aient été récemment appliqués, pour rendre plus intensive la production des fours à sole, nous vient d'Amérique; le procédé Talbot utilise un four cylindrique oscillant tout entier; à la fin d'une opération, on coule la majeure partie de l'acier, en ayant soin de conserver les scories; puis on recharge la fonte liquide d'une nouvelle opération; les scories jouent le rôle du minerai oxydant; les déchets sont réduits au minimum et la production est accélérée.

Quoi qu'il en soit, les procédés dits *basiques* ont atténué singulièrement l'énorme différence de valeur marchande, qui existait jadis entre les minerais phosphoreux et les minerais plus purs. Le bassin presque inépuisable de minerai supraliasique, que se partagent la France, le Luxembourg et l'Allemagne, leur doit sa prospérité croissante et d'autant plus inespérée que, sans eux, il eût été incapable de produire des aciers de bonne qualité, précisément au moment où ce métal commençait à supplanter le fer.

Une fois l'acier obtenu, on lui applique les procédés de *moulage* ou le traitement mécanique destinés à lui donner une forme marchande. Les moules doivent être plus cuits et plus réfractaires que pour la fonte; l'acier subit un retrait de 2 p. 100 qu'il convient de prévoir; on évite les soufflures par addition convenable de silicium, de manganèse ou d'aluminium.

Le laminage de l'acier exige des appareils d'une puissance considérable et, eu égard au poids des lingots traités, 2 à 3 tonnes, des releveurs mécaniques, souvent des machines réversibles. Les plus grandes de ces machines, à 3 cylindres, atteignent 5.000 chevaux de force et sont commandées par servo-moteurs.

Le *forgeage* se fait encore par marteaux-pilons; le Creusot en possède un de 100 tonnes, South Bethléhem (Pennsylvanie) de 125 tonnes; mais la tendance évidente est de remplacer ces appareils de choc par des presses hydrauliques, dans lesquelles la vapeur pousse un piston plongeur qui pénètre dans le cylindre hydraulique et y agit par action différentielle; telle de ces presses peut développer une compression de 14.000 tonnes.

Une des fabrications les plus intéressantes est celle des *plaques de blindage*, luttant avec le métal de plus en plus pénétrant des obus. Les premières plaques étaient en fer puddlé, travaillé au pilon. L'emploi d'obus en fonte trempée (1877) induit le Creusot à inaugurer l'acier homogène au carbone, tandis que Châtillon et Commentry emploie (procédé Wilson) une paroi extérieure en acier dur, soudée sur un sommier en fer. A l'apparition des projectiles en acier trempé après forgeage (1889), le Creusot essaye les aciers au nickel, Saint-Chamond au nickel et au chrome; les plaques minces voient ainsi leur résistance augmentée de 20 p. 100; on éprouve de grandes difficultés pour le gabariage des plaques épaisses, qui ne se laissent plus travailler.

Actuellement les plaques épaisses sont durcies superficiellement (procédé Harvey, 1891) par cémentation au charbon de bois ou au gaz d'éclairage sur 7 à 8 centimètres d'épaisseur. Pour finir le gabariage et percer les trous, on recuit le métal, localement, par l'arc ou l'aluminothermie; après la trempe, on finit à la meule à émeri.

Châtillon-Commentry exposait une plaque obtenue par moulage simple.

La fabrication des *tubes et pièces embouties* a subi des modifications profondes, corrélatives de la grande résistance et de l'extrême ductilité des nouveaux métaux fondus. On est loin des tubes soudés par rapprochement (Whitehouse, 1825), puis par recouvrement (Rouart, 1862). Les nouveaux procédés Brunon et Valette, Ehrardt, Mannesmann, Robertson utilisent tous la pénétration de mandrins ou de poinçons dans des blocs compacts, dont la matière est ainsi refoulée soit latéralement, soit en bout. Il y a parfois en outre étirage et laminage sur mandrin; on produit soit des obus, soit des bouteilles à

fonds conservés pour les gaz comprimés, soit des tubes ayant jusqu'à 12 mètres de longueur sur 3 à 4 centimètres de diamètre.

Un des chapitres les plus intéressants du rapport de M. Lodin a trait aux *aciers spéciaux,* dont la métallurgie commence à utiliser, à grands frais, les qualités exceptionnelles. Il est bon de rappeler tout d'abord les qualités mécaniques des aciers purs au carbone de Suède : à 0,10 et à 1,10 p. 100 de carbone; les charges élastiques sont, par millimètre carré, de 25 et 65 kilogrammes, celles de rupture de 42 et 86 kilogrammes, les allongements sur 20 centimètres de 28 et de 4 p. 100.

Une addition de *silicium* jusqu'à 4 p. 100 augmente la résistance à la rupture sans diminuer l'allongement dans les aciers doux (0,1 de carbone), la trempe reste sans action; dans les aciers durs (0,6 de carbone) elle augmente la résistance à la rupture; mais le recuit est indispensable pour combattre la fragilité; on atteint 105 à 112 kilogrammes avec 3 p. 100 d'allongement.

Le *manganèse* a de bons effets jusqu'à 4 p. 100; il donne des aciers très durs (avec 0,15 à 0,20 de carbone); à 8 p. 100 de manganèse, les produits, encore faciles à forger, ne se laissent plus percer.

M. Brustlein a étudié les propriétés des aciers au *chrome,* contenant de 0,1 à 0,4 de carbone. Jusqu'à 30 p. 100 de chrome, ils se travaillent bien, ont une dureté moindre que les aciers au manganèse, et supportent la trempe avec recuit au rouge sombre, qui augmente leur dureté et leur résistance. Ces métaux sont très fragiles transversalement, aux fortes teneurs en chrome.

L'addition de *tungstène* (Robert Mushet) en petite quantité, avec trempe à l'eau et recuit au rouge sombre, relève la limite élastique tout en conservant un allongement de 8 à 12 p. 100 et donne des métaux résistants au choc, bons pour outils et ressorts. A 6 p. 100 de tungstène et 10 p. 100 de manganèse, on obtient l'acier dit *infernal,* dont la dureté est intermédiaire entre celles des feldspaths et du quartz. Certains de ces aciers, essayés au laboratoire de Vienne, ont donné à la compression 430 et même 514 kilogrammes de résistance par millimètre carré, et se sont alors rompus avec une véritable explosion.

Le *molybdène* donne des produits analogues; la rupture a été poussée jusqu'à 170 kilogrammes, sans fragilité. Il convient de prendre du tungstène et du molybdène bien exempts de traces d'étain.

Les aciers au *nickel* sont dès à présent entrés dans la période de production industrielle. Dans les aciers peu carburés, l'addition de nickel, jusqu'à 3 ou 4 p. 100, relève la limite élastique, sans nuire à l'allongement; le refroidissement rapide, même à l'air, rend le métal dur et difficile à attaquer aux outils; il est nécessaire de le recuire d'une façon prolongée à 600 degrés. L'addition de 0,3 à 0,4 p. 100 de chrome donne des métaux ayant une résistance élastique d'au moins 40 kilogrammes, une résistance à la rupture d'au moins 55 kilogrammes, un allongement d'au moins 15 p. 100 (plaques de blindage). De 7 à 15 p. 100 de nickel, les meilleurs résultats sont obtenus avec peu de carbone (0,1 à 0,5) : résistance élastique 75 kilogrammes, rupture 120 kilogrammes, allongement 16 p. 100. Au-dessus de 16 p. 100 de nickel, avec 0,4 à 0,5 de carbone, on se rapproche des aciers au manganèse. Au-dessus de 25 p. 100 de nickel, la résistance élastique s'atténue (25 kilogrammes), la rupture en est loin (65 kilogrammes) et l'allongement devient formidable, 55 p. 100; mais quelques millièmes de chrome (0,5) raffermissent ce métal et lui donnent une dureté considérable (90 kilogrammes, 120 kilogrammes, 10 à 14 p. 100); la résistance au choc reste satisfaisante. On ne peut travailler un pareil métal qu'après recuit prolongé à 400 degrés. En somme, l'acier à 20 et 25 p. 100 de nickel, 0,5-0,6 de chrome, 0,6-0,9 de manganèse, 0,4-0,5 de carbone, est, dès à présent, utilisé; il est coûteux, difficile à mouler à cause de son retrait, et dur à travailler; mais il présente une résistance et une absence de fragilité remarquables.

M. L. Dumas[1] a récemment essayé d'expliquer les propriétés des aciers spéciaux par la modification apportée aux conditions de changement des états allotropiques du fer.

Cette revue, nécessairement rapide, des récents progrès de la sidérurgie met en évidence les résultats désormais acquis : production,

[1] *Annales des Mines*, 3ᵉ et 4ᵉ livraisons de 1902.

IMPRIMERIE NATIONALE.

économique et de qualités bien constantes, d'aciers fondus au carbone et remplacement prochainement intégral du fer puddlé par les aciers; étude et mise au point d'aciers spéciaux, notamment au tungstène, au manganèse et au nickel, présentant des qualités exceptionnelles. Nous pensons que ce double progrès ira s'affermissant, grâce à l'emploi généralisé du four électrique qui s'accommode si bien de l'utilisation intégrale des gaz pauvres des hauts fourneaux et de la production des métaux purs comme le chrome, le tungstène, etc.

C'est le **plomb** qui vient après le fer, dans l'ordre d'importance de la consommation; encore n'en usons-nous point la cinquantième partie de ce que nous produisons de fer. Les quatre grands pays producteurs sont les États-Unis (207 mille tonnes), l'Espagne (194), l'Allemagne (133) et le Mexique (71), récemment parvenu à cette grande production; sur les 782 mille tonnes fabriquées en 1899, ils ont donc fourni plus des trois quarts; la France, avec 11 mille tonnes, ne vient qu'après la Grande-Bretagne (49), l'Italie (24), la Nouvelle-Galles du Sud (23), etc. On voit qu'avec notre consommation de 77 mille tonnes, nous sommes tributaires de l'étranger pour cette matière première; mais nous possédons plusieurs grandes usines d'élaboration (Couéron à la Société de Pontgibaud, etc.). On a essayé, en Amérique, de pratiquer la désargentation du plomb par électrolyse.

Le **zinc** vient ensuite avec une production totale de 490 mille tonnes en 1899, en augmentation d'un tiers depuis 1889; les prix, qui avaient fléchi vers 1895, se retrouvent sensiblement les mêmes qu'au début de la dernière décade : 600 francs la tonne. La substitution progressive du blanc de zinc, remplaçant le blanc de plomb, et l'exportation naissante des États-Unis sont les faits économiques dominants; les cinq plus grands producteurs sont l'Allemagne (153 mille tonnes), la Belgique (140), les États-Unis (117), la Grande-Bretagne (32), la France (27).

Le grillage des sulfures se pratique maintenant de si parfaite façon que toutes les blendes sont utilisables; la fin du traitement se fait toujours par distillation en vase clos, avec du charbon anthraciteux menu.

M. Lodin donne, sur la Société de la Vieille-Montagne, quelques détails économiques intéressants; aussi bien le nom de cette Société ne peut être séparé de l'histoire métallurgique du zinc; en 1899, elle a traité 136 mille tonnes de minerai, extrait 70 mille tonnes de zinc brut et en a laminé 58. Son capital qui était de 9 millions en 1853, a rapporté un dividende moyen de 23 p. 100; l'amortissement total a été de 55 millions de francs.

Après le zinc, le **cuivre** se présente encore avec une production annuelle totale de 486 mille tonnes (1900), à peu près doublée depuis 1889. Au commencement du siècle, il coûtait 4.000 francs la tonne; en 1889, 1.230 francs; en 1899, 1.869 francs. Mais le prix moyen, pour les dix dernières années, a été de 1.221 francs, et il est à remarquer que les prix moyens des périodes décennales n'ont cessé de décroître; la consommation de conducteurs en cuivre pour l'électricité n'aura pas une action prépondérante à ce point de vue; car, à partir d'un certain prix, l'emploi de l'aluminium devient avantageux.

Le grand producteur de cuivre est l'Amérique du Nord avec 283 mille tonnes (dont 264 pour les États-Unis); l'Espagne (36), le Japon (28), le Chili (25), l'Allemagne (24), l'Australie (21) viennent loin derrière l'Amérique du Nord.

La métallurgie de ce métal est toujours basée sur le grillage, puis la fusion pour matte au four à cuve; de la matte au cuivre brut les formules varient; la plus nouvelle consiste dans l'emploi du convertisseur; le sélecteur Paul David (usine d'Équilles) s'y applique d'une façon intéressante; c'est un renflement près du gueulard, avec trou de coulée pour recueillir les parties les plus denses; on commence par oxyder la matte et l'éclaircissement des flammes indique le moment où elle est convertie en protosulfure; alors on élimine la scorie ferrugineuse; puis on souffle quelques minutes et il se produit une première liquation de cuivre impur, contenant l'arsenic, l'antimoine, l'or et un peu de l'argent. Le sélecteur permet de recueillir ce cuivre impur; puis on continue l'oxydation jusqu'à coloration rouge sombre de la flamme et projection de globules de cuivre; le cuivre brut est enfin coulé.

Le raffinage est maintenant obtenu par des procédés électrolytiques; les États-Unis ont ainsi raffiné, en 1900, 172 mille tonnes, soit plus des deux tiers de leur production; en Europe, 37 mille tonnes ont été traitées de même. Une partie de l'élaboration du cuivre est également confiée à l'électrolyse (procédé Elmore); il convient de se mettre en garde contre l'écrouissage des produits électrolytiques, comprimés par les laminoirs en agate, utilisés dans certains cas.

L'**étain**, un des premiers métaux, avec le cuivre, que l'homme ait su tirer de sa gangue, nous vient principalement de la péninsule malaise (47 mille tonnes) et des îles de la Sonde (19); en 1899, ces gisements ont ainsi fourni 66 mille tonnes sur une production totale de 79 mille tonnes. L'avenir nous dira si les gisements du Yu-Nan, récemment explorés par M. Leclère, sont destinés à leur faire une concurrence active.

Le plateau central en France est riche en filons de stibine, principal minerai de l'**antimoine**; puis viennent l'Autriche-Hongrie, les États-Unis, l'Italie, le Japon. M. Lodin estime de 5 à 10 mille tonnes la production annuelle de l'antimoine et de son oxyde.

Jadis on concentrait par liquation le sulfure d'antimoine; on obtenait un régule par précipitation avec le fer métallique, puis on grillait et on volatilisait l'oxyde d'antimoine. Depuis 1889, on applique un nouveau traitement, dérivé de celui préconisé par MM. Herrenschmidt et Borthwick : on volatilise directement l'oxyde d'antimoine en partant du minerai et en condensant les produits; dans les régions chaudes des portes de tirage, il se dépose des croûtes d'antimoniate d'antimoine, dans les chambres de condensation de l'oxyde mêlé de 9 à 10 p. 100 d'antimoniate. Les oxydes ainsi produits sont réduits au creuset en présence de charbon de bois et d'un fondant; ce procédé a été appliqué en France par M. Chatillon.

La métallurgie du **nickel** emprunte son importance à l'emploi de plus en plus développé des aciers au nickel; de 850 tonnes en 1889, sa production a passé à 7.500 en 1899; et cependant le minerai ne

nous vient que de deux centres, la Nouvelle-Calédonie avec les oxydes à 7 ou 8 p. 100 et le Canada (Sudbury) qui produit une pyrrhotine nickélifère mêlée de calcopyrite et contenant 17 p. 100 de cuivre, 16 p. 100 de nickel, 0,30 p. 100 de cobalt, avec 90 grammes d'argent, 80 grammes de platine et 110 grammes de palladium à la tonne. La séparation du cuivre se fait par fusion avec le sulfure de sodium, le raffinage par électrolyse.

L'Exposition ne nous a pas renseignés avec précision sur l'élaboration des métaux précieux : le **mercure** nous vient toujours d'Espagne (Almaden, 1.357 tonnes en 1899), des États-Unis (993 tonnes), d'Autriche (Idria, 504 tonnes). La consommation totale a été, en 1899, de 3.739 tonnes.

L'**argent** est surtout traité, maintenant, par la lixiviation aux hyposulfites, qui se substitue à l'amalgamation.

Quant à l'**or**, la cyanuration s'est partiellement substituée aux divers modes de chloruration; le rapport de M. Haller, sur la Classe 87, donne d'intéressants détails sur la production industrielle des cyanures, qui montent actuellement à 11.000 tonnes pour le prussiate de potasse, à 1.800 tonnes pour celui de soude, et enfin, à 8.000 tonnes pour le cyanure de potassium et de sodium; l'Angleterre produit environ la moitié de ces cyanures extraits, soit des produits accessoires de la fabrication du gaz d'éclairage, soit des eaux résiduaires des sucres de mélasse, soit enfin de l'action directe de l'azote ou de l'ammoniaque sur un mélange de charbon et de carbonate de potasse au rouge.

On sait que le traitement des **métaux précieux**, et notamment de l'or, a toujours pour base l'amalgamation, la chloruration que l'on applique aux concentrés ou aux matières exceptionnellement riches, enfin la cyanuration, qui réussit surtout avec les minerais pauvres ou s'amalgamant mal, comme les pépites ou l'or dit *rouillé* (couvert d'oxydes de fer); on a récemment perfectionné, au Transvaal, les procédés de cyanuration, en utilisant des liqueurs de plus en plus étendues; là où le zinc en copeaux ne précipite plus l'or, le zinc

plombé réussit; il paraît remplacer les procédés d'électrolyse qu'on a aussi tenté d'appliquer aux cyanures très étendus (Siemens).

L'**aluminium** mérite une mention spéciale; en 1886, sa consommation dans le monde entier était d'environ 1.500 kilogrammes et il coûtait 80.000 francs la tonne; en 1899, elle a atteint 5.000 tonnes, dont le prix est descendu à 3.000 francs environ. M. Haller estime à huit le nombre des usines où il est fabriqué; elles disposent de 56.000 chevaux, dont la moitié est utilisée pour la fabrication de l'aluminium. Nous renvoyons aux Classes 87 et 24 pour les détails de cette fabrication.

Le travail du métal, qu'il est souvent nécessaire d'obtenir aussi pur que possible, se fait par refusion au creuset de graphite ou au four à réverbère à sole magnésienne; sa contraction monte à 2 p. 100 et est triple de celle du bronze.

Le laminage exige des lingots coulés dans des moules à surface polie, enduite de graphite ou de craie. Le martelage se fait à la température de carbonisation d'un bois dur. La soudure, d'après M. C. Heræus, doit se faire à une basse température, bien inférieure à la fusion, à peine au-dessus du rouge, sans fondant, par simple pression des deux surfaces bien nettoyées.

Les alliages les plus connus sont le magnalium (avec magnésium), le partinium (avec tungstène), l'albradium (avec cuivre, zinc, nickel), etc.

Les fils pour conducteurs électriques gagnent à être en métal pur; leur conductibilité est de 61 à 62 p. 100 de celle du cuivre; la résistance du métal écroui ou recuit est de 23 kilogrammes ou 11 kilogrammes à la rupture; les allongements corrélatifs de 4 ou 32 p. 100. Il existe déjà, aux États-Unis, des conducteurs en aluminium qui assurent une transmission de 128 kilomètres de longueur.

L'aluminium s'attaque rapidement dans l'eau salée; mais, lubrifié par une matière grasse, même en très petite quantité, il résiste aux actions atmosphériques. Il est, dès à présent, très employé pour la construction des carters et des caisses d'automobiles.

Classe 65.

PETITE MÉTALLURGIE.

M. Defrène, rapporteur de la Classe 65, définit la petite métallurgie, en lui attribuant l'ensemble des ateliers, qui manufacturent les métaux usuels en objets à l'usage des industries mécaniques, de la construction et de l'économie domestique. En fait, ces ateliers sont tributaires de la fonderie, de la forge, de la tréfilerie, de la taillanderie, de la ferblanterie, de la serrurerie, etc.

Les progrès de ces diverses industries sont manifestes depuis 1889; l'extension toujours croissante des machines-outils perfectionnées a, en même temps, diminué les prix et amélioré la fabrication; de plus, comme la plupart des produits de cette classe exigent un effort artistique et une dextérité caractéristique, la situation particulière à l'industrie française paraît satisfaisante.

La **fonderie** a dû renouveler certains de ses produits, pour satisfaire aux besoins créés par les nouveaux procédés de chauffage économique, en faveur dans le public. Les usines des Ardennes fabriquent des cheminées et des poêles à émail céramique, à parties nickelées par les moyens électrolytiques. Grâce à une heureuse invention de M. A. Dormoy, l'application des émaux se fait désormais sans danger pour la santé des ouvriers, dans une cage hermétique, contenant un plateau tournant et oscillant qui permet, du dehors, une orientation et une manipulation convenables.

La **fonte** a bénéficié de moyens mécaniques pour la confection des moules, et aussi pour la suppression des soufflures et autres défauts qui multiplient trop souvent le rebut, dans l'obtention de pièces délicates, comme les cylindres de machines. L'emploi de la fonte malléable, obtenue par décarburation des produits après coulée, s'est généralisé; on sait qu'en chauffant en vase clos les pièces fondues avec un mélange de minerai de fer anhydre et de sable, on les rend moins cassantes; c'est l'inverse de la cémentation. Les produits en

acier coulé ont une faveur croissante, pour des raisons analogues et aussi à cause de leur légèreté, jointe à une plus grande résistance.

Parmi les produits venus de **forge**, nous trouvons d'abord la grande industrie des boulons, vis et ferrures diverses. Ici, la machine-outil revolver nous fournit des produits d'une précision presque absolue et d'une qualité qui peut être irréprochable, eu égard aux progrès de la grande métallurgie et à la fabrication, désormais courante, d'aciers excellents, au moyen de minerais quelconques.

L'usinage des diverses chaînes est encore tributaire de la forge puisque, sur deux maillons, un seul peut être obtenu sans soudure; les nouveaux procédés de soudure électrique ont fait leur apparition dans la fabrication des petites chaînes (Dorémieux).

L'industrie de la **tréfilerie** a, elle aussi, bénéficié de la substitution de l'acier doux au fer fin; elle emploie actuellement certains alliages dont la résistance va jusqu'à 300 kilogrammes par millimètre carré; avec les fils de divers numéros produits, on fabrique des aiguilles, des cordes de pianos et des câbles pour ponts suspendus. Les câbles dits *clos*, de la maison Felten et Guilleaume, sont en forme de corde ronde, à fils d'acier s'emboîtant entre eux et se tenant, même en cas de rupture de l'un d'eux.

La fabrication des divers clous et pointes dites *de Paris* est aussi une annexe de la tréfilerie; en Allemagne et aux États-Unis elle est entre les mains de syndicats puissants, qui en monopolisent à peu près la production.

Par extension, nous trouvons ici rangés les grillages et tissus mécaniques, parmi lesquels on doit une mention spéciale aux grillages ondulés et au métal déployé; on sait que la machine Golding reçoit des tôles en acier doux Martin-Siemens, qu'il faut lui donner décapées, recuites, planées et coupées d'équerre; elle livre un grillage en losanges dont l'usage se répand sous plusieurs formes.

L'industrie des aiguilles, jadis concentrée à Redditch, près Sheffield, a été transplantée en France, depuis qu'elle utilise largement la machine-outil moderne, et n'est plus seulement tributaire des tours

de main traditionnels d'ouvriers, constitués en corporation fermée. C'est à M. Paul Bohin que l'on doit cet heureux résultat; il occupe actuellement 800 ouvriers dans son usine de Saint-Sulpice-sur-Rille, près Laigle.

Parmi les produits de la **taillanderie**, M. Dufrène cite, en première ligne, les usines des fils de Peugeot frères, qui livrent par an 800.000 fourches, 1 million de ciseaux, 350.000 moulins à café; elles manufacturent 4.500 tonnes de métal, emploient 2.865 ouvriers et utilisent 3.900 chevaux de puissance.

Certaines spécialités paraissent réfractaires au progrès et à l'emploi des machines-outils nouvelles; ainsi, la fabrication des faux en acier fondu se fait encore au martinet et à la main; tout au plus les faux renommées, fabriquées en Autriche, utilisent-elles des martinets électriques et reçoivent-elles quelques ornements électrolytiques.

Par contre les limes, dont l'usage est encore fort étendu, bien que réduit par la précision de la construction moderne et l'usage de plus en plus répandu des meules de corindon, se fabriquent mécaniquement; après forgeage, trempe et recuit, on les affûte avec deux jets convergents de sable.

Les bons **coffres-forts** sont réellement incombustibles et imperforables; on les habille en métal analogue à celui des plaques de blindage; on les munit de combinaisons à quatre chiffres invisibles; on garnit parfois leurs serrures de pênes diagonaux, condamnés par un chronomètre à mouvement automatique; mais il faut s'arrêter dans cette voie et songer au cruel embarras que peut occasionner, avec des appareils si bien défendus, un oubli ou une mort subite.

Les fermetures métalliques ont fait de grands progrès mécaniques et se marient heureusemeut avec les servo-moteurs hydro-électriques.

L'industrie de la **robinetterie** a été révolutionnée par l'emploi généralisé des fluides sous pression; elle est désormais en possession des trois principales qualités qu'on exige de ses produits : stabilité de la clef, étanchéité absolue et, souvent, fermeture automatique.

Le métal des timbres et cloches se rapproche de ceux utilisés en robinetterie; c'est en Savoie, dans l'usine Panard, qu'a été fondue la Savoyarde, qui pèse exactement 18.835 kilogrammes.

La **ferblanterie** a vu ses procédés complètement renouvelés par l'emploi des machines-outils perfectionnées; elle est désormais plus gracieuse, plus solide et moins chère. Les métaux emboutis ont remplacé les métaux fondus et étirés, la presse a pris la place du balancier à la main; la même machine fait généralement le découpage, l'emboutissage, l'estampage et le perçage, parfois même l'agrafage et la soudure.

Cette rapide revue d'un très grand nombre d'industries permet de saisir, sur le fait, les progrès caractéristiques dont nous nous efforçons de faire ressortir la tendance : ingénieux perfectionnements des machines-outils, rénovation de la matière première qu'on leur livre. Ni l'un ni l'autre de ces progrès n'a fini son évolution : depuis l'apparition de la machine à coudre et des métiers modernes, nous savons qu'on peut tout attendre de ces merveilleuses mains mécaniques; quant à l'évolution des métaux, l'étude de leurs alliages succède en ce moment aux efforts, couronnés de succès, qui nous ont amenés du Bessemer au procédé Thomas et Gilchrist et au four Martin-Siemens; nous possédons des fils d'acier qui résistent à un effort de 300 kilogrammes par millimètre carré, et nous voyons renaître la vogue des ponts suspendus.

DOUZIÈME GROUPE.

DÉCORATION ET MOBILIER DES ÉDIFICES PUBLICS ET DES HABITATIONS.

Classe 68.

PAPIERS PEINTS.

L'industrie des papiers peints a fait, en tout temps, honneur à nos artistes et à nos industriels; dès 1849, l'Angleterre a introduit les machines à imprimer en plusieurs couleurs dans ses fabriques, luttant ainsi contre l'incontestable supériorité que nous avait, jusqu'alors, assurée la fabrication à la planche; en 1860 nous nous décidons à importer quelques machines à huit couleurs; en 1878 notre industrie est de nouveau prospère; de nombreuses machines, dont plusieurs de vingt-quatre couleurs, fonctionnent dans nos fabriques, et l'Exposition de 1889 montre leurs décors de 2 mètres de hauteur, sans raccord.

M. Petitjean, dans un rapport substantiel, constate qu'en 1901 nous maintenons notre position acquise, mais non sans difficulté, à cause des droits élevés que nous sommes obligés de supporter à l'exportation, et du droit insuffisant qui nous couvre contre les importations. En fait, nos exportations ont légèrement diminué en poids (1.500 tonnes en 1899 contre 1.850 en 1889), et beaucoup plus en valeur; mais, surtout, nos importations se sont accrues dans une grande proportion (1.120 tonnes contre 264). Elles proviennent surtout de l'Allemagne et de l'Angleterre, qui nous fournit le genre japonais et sanitary.

Notre production nationale est actuellement condensée en 25 fabriques, qui possèdent environ 200 machines et 200 tables à imprimer, occupent 3.000 ouvriers et produisent annuellement 32 mil-

lions de rouleaux, d'une valeur totale de 16 à 18 millions de francs.

Ainsi qu'on le voit, la machine fait concurrence à la planche à imprimer à la main, mais ne l'a pas encore définitivement détrônée. L'Exposition nous montre deux nouvelles pâtes de papier : une imitation de toile avec le chiné du jute; un genre laineux, dit *veloutine*, qui évite les inconvénients des anciens veloutés. L'emploi des couleurs discrètes, genre *Liberty*, et les dessins vaporeux de l'art moderne ont fait irruption dans l'industrie des papiers peints, qui luttera longtemps encore contre les autres genres de tentures et de décoration, à cause du bon marché relatif de ses produits et de leurs qualités hygiéniques.

Notre sol et nos colonies nous fournissent les matières premières des couleurs et vernis : les huiles nous viennent de nos départements du Nord; la térébenthine, des Landes; les gommes, de Madagascar, du Sénégal et de la Nouvelle-Calédonie. En outre, la Société française de Charleval, récemment fondée, nous approvisionne de couleurs métalliques en poudre, qui nous venaient précédemment d'Allemagne.

Classe 70.

TAPIS, TAPISSERIES ET AUTRES TISSUS D'AMEUBLEMENT.

Le rapport sur la Classe 70, tapis, tapisseries et autres tissus d'ameublement, est dû à la plume autorisée de M. Ferdinand Leborgne; il est précédé d'un préambule, rédigé en collaboration avec M. Legrand, président du Jury, et concluant à la nécessité d'une recherche d'un art moderne. Une revue rapide des divers styles, que nous a légués le passé, semble justifier cette conclusion : l'art roman du moyen âge, puis gothique du XIIe au XVe siècle, est à la fois sévère et décoratif; la Renaissance subit, sous François Ier, l'influence florentine; mais Philibert Delorme et ses contemporains rétablissent la prééminence du style français; d'admirables broderies datent de cette époque. Sous Louis XIII, le cachet de l'ameublement est bien en rapport avec les splendides brocarts qu'il utilise; il est sévère, sobre, d'une véritable noblesse de lignes. Avec Louis XIV, nous entrons dans

la période la plus grandiose; les Gobelins nous donnent les inoubliables séries de Le Brun; les damas et les velours de Gênes complètent cet ensemble, à la fois somptueux et accompli. La décadence commence avec les élégances raffinées du Régent, mais combien délicieuse encore dans le maniérisme voulu des soieries et lampas Louis XV, s'inspirant des chefs-d'œuvre des Boucher, des Watteau, etc. Les taffetas brochés de Louis XVI présentent des lignes plus correctes, mais déjà la tourmente révolutionnaire interrompt cette évolution de l'art; sous le Directoire et sous le premier Empire nous le trouvons voué aux lignes rigides, renouvelées des Grecs et des Romains.

Puis c'est le néant, c'est l'imitation plus ou moins heureuse de ce riche passé, jusqu'au moment où la recherche d'un art nouveau nous met aux prises avec les lignes un peu trop indécises, à notre goût, du style *Liberty,* qui a fait fureur chez nos voisins. MM. Legrand et Leborgne proclament la légitimité et même la nécessité de cette recherche; ils appellent de leurs vœux la rénovation de notre art national et saluent avec joie les premiers essais de *stylisation de la fleur*, que nous devons à M. Antoine Jorrand d'Aubusson; dès 1896, de superbes tapisseries d'art moderne ont bénéficié des progrès mécaniques qui, s'appuyant sur d'ingénieuses combinaisons de couleurs, ont permis les *fardages,* les fondus par mélanges de chaînes et trames, toutes deux multiples et de coloris très variés; c'est, en matière d'étoffes, une évolution analogue à celle que Gallé a réalisée pour les verreries et Lalique dans la joaillerie; seulement, les maîtres de l'art moderne doivent réagir contre l'exagération voulue de certains de leurs disciples; l'incomplet, l'inachevé, la rigidité égyptienne ou indoue combinée avec le maniérisme chinois ou japonais ne constitueraient pas une rénovation suffisante des admirables styles que nous a légués notre passé national.

Le tissage des **tapisseries** est représenté en détail sur l'hypogée de Beni-Hassan; du IVe au XIIe siècle, les Coptes ont cultivé cet art délicat; au retour des croisades, nos chevaliers ont rapporté de merveilleux tissus d'Orient; les salles des châteaux, au XIVe siècle, étaient tendues de grandes tapisseries à franges; Arras avait la spécialité de

ces tapisseries de haute lisse, travaillées sur l'envers de métiers verticaux, et dénommées *arrazi*. François Ier faisait travailler quelques ouvriers de haute lisse, à Fontainebleau; Henri II les installa à l'hôpital de la Trinité; Henri IV les établit définitivement dans les ateliers jadis occupés par des teinturiers en écarlate, nommés Gobelin. C'est là que Le Brun les retrouva, sous Louis XIV.

Entre temps (1664), la Manufacture nationale de Beauvais était fondée; elle attira chez elle la fabrique de Blommart, de Lille, et devint maîtresse en tapisserie de basse lisse, travaillée sur l'envers de métiers horizontaux; la laine y était réservée aux ombres et demi-teintes; la soie aux clairs et rehauts.

Aubusson et Felletin ont, eux aussi, conservé la tradition des tapisseries à la main, genre tapisserie des Flandres; leur industrie est florissante.

A l'étranger, M. Leborgne mentionne spécialement les tapisseries de Gerhard Munthe (Norvège), en laine forte, épaisse et très serrée. Ce sont des «Gobelins» rustiques, naïvement décoratifs, composés d'un nombre restreint de couleurs vives. Les écoles techniques, en Allemagne, sont florissantes, et nos voisins produisent des tapisseries fines, genre Gobelins; il faut citer notamment les belles guirlandes de fleurs et de fruits, de MM. Ziesch et Cie, de Berlin.

L'introduction des **tapis de pied** en Europe serait due aux Maures, d'où leur nom longtemps conservé de tapis sarrasinois. Importée de France en Angleterre vers 1540, cette industrie y est devenue rapidement prospère, et la fabrication anglaise mécanique de la *moquette* a longtemps menacé Tournai (Belgique) et nos propres centres, Nîmes, Abbeville, Aubusson, Beauvais et Tourcoing.

Successivement, on a vu naître la moquette à gril (à plusieurs chaînes de couleurs), puis les moquettes bouclées ou veloutées dont les dessins, imprimés sur chaîne, simulent économiquement les dessins obtenus à la mécanique Jacquard. Dès 1855, l'Angleterre nous a inondés de ces produits bon marché, que Beauvais (maison Lainé) sait maintenant produire. Nos exportations en moquette dépassent encore 3 millions de francs.

Le *tapis d'Orient* à points noués, d'une grande simplicité de dessin, mais avec une intensité profonde de tons et un moelleux incomparable, a conservé sa vaste clientèle : la France seule en importe pour près de 2 millions de francs (1.754,000 fr. en 1899); le prix du mètre carré varie de 17 à 65 francs.

Au point de vue industriel, la vraie nouveauté, révélée par l'Exposition de 1900, est le métier Duquesne et Cie, qui permet la production mécanique et économique de tentures et de tapis, ayant toutes les qualités de solidité et de moelleux des tapis d'Orient fabriqués à la main. Ce métier ingénieux, assez analogue aux grands métiers à dentelle, permet l'enroulement des fils de la chaîne, faisant velours (laine), autour de la chaîne de force (chanvre, lin, jute ou coton). Il en résulte un envers laineux reproduisant, sous forme de gros points de tapisserie, le dessin que l'endroit montre velouté, après le passage des couteaux qui en coupent les brins. Les produits de la maison Duquesne, dits *tapis parisiens*, sont remarquables à tous égards.

C'est seulement vers 1871 que l'application de la mécanique Jacquard aux métiers à tisser les **étoffes pour ameublement** se fit pour la première fois à Roubaix; dès lors il en résulta une multitude de tissus de fantaisie, mélangés soie et laine, laine et coton, coton et jute. Les Expositions de 1878 et de 1889 révélèrent la fécondité de cette nouvelle fabrication industrielle; tandis que Lyon, Tours, Nîmes, Bohain continuaient le tissage à la main de somptueuses étoffes, Roubaix, Tourcoing, Lannoy, Thizy, largement outillés, produisaient le bon marché, de plus en plus varié et plaisant à voir; grâce à l'emploi de schappes pour chaîne au lieu de l'organsin, et de trames en soie tussah au lieu de soie des Cévennes ou de Chine, on abordait de riches imitations à des prix abordables; en même temps, on fabriquait deux pièces de velours à la fois.

L'Exposition de 1900 a continué la série des riches fantaisies bon marché; le coton mercerisé[1], plus ou moins mélangé de soie, permet

[1] Voir Classe 78, page 319.

l'imitation de belles soieries à des prix de revient réellement fantastiques, et nous a réouvert le marché des États-Unis. L'emploi simultané de 5 et même 6 chaînes de couleurs variées, combinées avec 2, 3 et 4 trames, a donné naissance à des imitations fidèles des plus belles verdures (Vanoutryve, Roubaix). Notre production et notre exportation reflètent fidèlement cet état prospère et ces progrès incessants; elles ont été respectivement, en 1898, de 85 et de 35 millions de francs; nos produits sont particulièrement estimés en Angleterre et dans l'Amérique du Sud.

On sait que la première fabrique de **tissus imprimés** sur toile date de 1759 et est due à Oberkampf; il utilisait, à Jouy-en-Josas, des planches gravées; les progrès ultérieurs leur adjoignirent des cylindres gravés, bons pour machines rotatives, et doués d'un garnissage mécanique des matières colorantes. Actuellement on peut aborder simultanément seize coloris différents; Épinal, Rouen, Mulhouse, Manchester sont les grands centres de cette florissante industrie; le prix de l'impression à la machine varie de 0 fr. 30 à 2 francs le mètre; à la planche, de 3 fr. 50 à 8 francs.

M. Leborgne rappelle mélancoliquement que le **métier à broder** de Josué Heilmann, rebuté (1829) en France, fut accepté en Suisse, puis perfectionné (1890) en Saxe. Il nous revient maintenant avec la sanction du grand succès (Tourcoing).

D'après M. Chovo, directeur de la Compagnie Nairn, à Orly (Seine), le **linoléum** est destiné à supplanter définitivement la toile cirée. Galloway avait imaginé de mélanger l'huile de lin, cuite avec la gomme kaurie (ciment), aux déchets de caoutchouc; Walton rendit l'invention pratique en substituant les déchets de liège au caoutchouc trop cher. On sait que la toile cirée est obtenue en mélangeant au même ciment le blanc de Meudon.

Le tout est appliqué à chaud, par moyens mécaniques, sur une toile de jute. L'ornementation, sous forme de dessins imprimés, est peu solide; divers procédés permettent d'appliquer sur la toile des

poudres de linoléum diversement coloriées, dont l'usure n'est plus à craindre.

Ce produit est à la fois résistant, élastique et imperméable; il se prête à des applications hygiéniques.

En résumé, le rapport de M. Leborgne nous donne une idée juste de la prospérité et des efforts incessants, dont bénéficie l'industrie des tissus d'ameublement. La perfection sans cesse croissante des procédés mécaniques, dont les métiers Duquesne et Vanoutryve nous ont fourni de nouveaux et remarquables exemples, la tendance vers une rénovation de l'art, tels sont les faits nouveaux qui ressortent nettement du travail si consciencieux et si complet de M. Leborgne. Grâce au legs du passé et au sentiment délicat de l'art que nous lui devons, la France fait bonne figure dans la vulgarisation des riches étoffes, que recherche l'ameublement; il convient d'encourager tous les progrès mécaniques et d'entretenir, dans nos écoles techniques et artistiques, le goût délicat et pondéré, qui a toujours caractérisé nos industries d'art, en nous tenant à égale distance du mysticisme indécis et du matérialisme grossier.

Classe 72.

CÉRAMIQUE.

C'est à M. G. Vogt, directeur des travaux techniques à la manufacture de Sèvres, que nous devons le rapport sur la Classe 72, consacrée à la céramique; c'est dire la compétence avec laquelle il est écrit et le poids des conclusions du rapporteur. Elles tendent à prouver que les arts céramiques, à raison même de leur nature et de l'antique origine de leur industrie, ne subissent et ne peuvent subir qu'une lente évolution vers le progrès; l'effort de l'esprit humain, en ce qui touche à la céramique, a commencé avec l'homme préhistorique; mais, en outre, la résistance d'un nouveau produit ne peut être connue qu'après un long essai.

Néanmoins, nous assistons à une évolution industrielle nettement définie, qui a commencé avec les *fours continus* Hoffmann et Licht

IMPRIMERIE NATIONALE.

(1858) et s'est continuée par l'emploi des gazogènes (1871), dont le combustible gazeux permet de faciles changements d'allure et évite les poussières.

En même temps, et pour ainsi dire parallèlement, les *fours-tunnel* et les *fours-canal*, surtout usités pour la cuisson des pièces décorées et pour le séchage, se perfectionnent par l'emploi des soles mobiles qui permettent automatiquement l'approche progressive des parties à haute température, et le recul graduel.

Le perfectionnement réel des fours de cuisson est heureusement complété par l'emploi généralisé des pyromètres, *couples thermo-électriques* et *montres fusibles;* ces dernières sont de petites pyramides composées de mélanges variés de quartz, de kaolin, de feldspaths et de craie, dont la fusion, sous forme de silico-aluminates alcalino-terreux, permet d'apprécier, de 20 en 20 degrés, les températures de 1.150 à 1.800 degrés. De 600 à 1.150 degrés, on emploi des boro-silicates alcalins et plombeux.

Les *moyens mécaniques,* malaxage en pâte molle, ferme ou sèche, puis moulage imitant le travail à la main, ou opérant par rotation continue, ou encore au moyen d'un moule qui découpe, ou enfin par filière et découpage au couteau ou au fil, ont aussi bénéficié de progrès notables. Le broyage s'effectue dans des moulins Alsing, sortes de cylindres en fonte revêtus de briquettes de grès ou de porcelaine, dans l'intérieur desquels des galets de quartz, de la grosseur d'un œuf, pulvérisent les matières premières. Le malaxage se termine dans les filtres-presse Needham et Kite, qui donnent à la pâte la consistance voulue. Il est suivi par un marchage ou battage mécanique, rendant homogènes les galettes qui sortent des filtres-presse et qui jadis étaient foulées par les pieds de l'homme.

Les tours (moules), mus mécaniquement, sont garnis à la balle ou à la croûte; ils procurent la surface extérieure, tandis que l'estèque (pièce de métal) donne le profil intérieur. Les machines à assiettes, à plats ovales, de M. Faure, déjà récompensées par un grand prix en 1889, sont arrivées à un rare degré de perfection.

Le coulage, par absorption de l'eau de la barbotine dans le moule, favorisée par l'emploi du vide ou de l'air comprimé, a été sensible-

ment amélioré; en chargeant la barbotine épaisse de silicate de soude, on lui donne la fluidité nécessaire sans user aussi rapidement les moules.

Enfin, le moulage à la presse dans des moules métalliques a fait aussi quelques progrès et en promet d'autres, qui pourraient être capitaux.

La *recherche* et l'*utilisation des matières premières,* kaolin, argiles, feldspaths, diverses variétés de silice, n'a pas été l'objet d'innovations bien marquées; et cependant la profusion des roches feldspathiques, et les délicats procédés de séparation mécanique basés sur l'emploi de l'électro-aimant et des liqueurs lourdes, semblent devoir appeler l'attention des spécialistes. Au moins les études de chimie physique ont-elles commencé à permettre l'utilisation plus rationnelle des matières en œuvre; elles ont appris à confirmer l'existence de diverses variétés de silice à dilatations inégales; d'argiles à propriétés variables. Seger, dès 1882, a appelé l'attention sur l'importance des *dilatations* pour l'accord des pâtes et des couvertes céramiques; il a été suivi dans cette voie par MM. Le Chatelier, Damour, Coupeau, dont les travaux récents donnent déjà, quoique incomplets, des résultats très intéressants pour le praticien.

Les *études micrographiques et pétrographiques* ont, elles aussi, commencé à fournir un point de départ solide pour l'examen des matières premières; pour ne signaler que les travaux les plus récents, ceux de MM. von Fritsch (1881), Hussak (1889) et Vogt (1897) ont établi que l'élément plastique du kaolin et des argiles est constitué par un minéral à clivage micacé, la kaolinite, en très petites lamelles hexagonales. La muscovite, en petits débris submicroscopiques, y apporte sa potasse, sans nuire à la plasticité extrême du mélange. Certaines argiles sont dues au contraire à la décomposition de minéraux primitivement magnésiens, tels que la chlorite ou la biotite; c'est notamment le cas de la matière argileuse de nombreuses marnes encore calcaires.

Enfin, la *chimie des couvertes, émaux et couleurs* a fait de grands progrès, inséparables des noms de Léger, Heinecke, Peyrusson, Lauth, Dutailly, Clément, Vogt, etc.

Nous n'avons pas mission d'étudier l'évolution artistique qui caractérise la dernière décade; nous nous bornerons à signaler la création toute récente de palettes de couleurs, susceptibles d'être employées sur ou sous couverte au feu de four, et l'aspect tout nouveau des décors en émaux brillants; nous insisterons aussi sur l'importance, chaque jour croissante, des grès cérames légèrement vitrifiés, pour la décoration intérieure et extérieure de nos habitations.

Classe 73.

CRISTAUX, VERRERIE.

L'industrie du verre est en réel progrès depuis 1889, et, malgré la crise économique qu'une surproduction trop intensive a fait peser sur quelques spécialités, on peut dire que le progrès ouvre dès à présent de nouvelles voies à l'utilisation industrielle, scientifique, artistique des silicates fondus.

Dans son rapport sur la Classe 73 (Cristaux et verreries), M. E. Houtart a rendu justice aux efforts de MM. Appert, Henrivaux, Gerspach, Mantois, Gallé, Daum, etc.; il considère que le xxe siècle sera caractérisé par l'emploi de plus en plus exclusif du fer et du verre et, à côté des progrès pour ainsi dire normaux qu'a subis la fabrication des glaces, des verres à vitres, à bouteilles, de la gobeletterie, de la cristallerie, il signale la curieuse adaptation à l'architecture moderne du verre (dalles, briques, opaline, pierre de verre dévitrifié, tuyaux, etc.), dont l'abaissement progressif du prix de fusion permettra l'emploi de plus en plus généralisé.

On sait que le verre est un silico-aluminate de chaux et de soude, auquel on ajoute du plomb, dans le cristal, pour augmenter sa densité, sa fusibilité et son éclat. Dans les verres d'optique, l'acide borique, le zinc, le baryum, l'urane, le titane servent à modifier la réfringence et la dispersion. La fusion se faisait jadis exclusivement en creuset; l'emploi de fours analogues à ceux de la métallurgie, dits *à bassin*, et utilisant les gazogènes et les récupérateurs, a commencé, dès 1889, à révolutionner les verreries; la transformation est main-

tenant à peu près accomplie et a été corrélative d'un abaissement des prix de revient et de vente.

Au point de vue mécanique, les modifications ne sont pas moins notables : jadis, la canne à souffler servait à tout, comme au temps des ouvriers thébains, représentés dans les peintures des hypogées de Beni-Hassan ; maintenant le soufflage emprunte l'air comprimé à des appareils mécaniques et rétrocède surtout devant les divers procédés de moulage, dont le moule allemand des flûtes à vin du Rhin, d'abord en bois, puis en fonte, a été le prototype. Le Jury a été unanime pour reconnaître que M. Boucher a, le premier, résolu en 1894, dans sa verrerie de Cognac, le difficile problème de la fabrication entièrement mécanique des bouteilles; pour la gobeletterie, le procédé Léon Appert date de la fin de 1889; il se fonde principalement sur un moulage successif des surfaces et exige la conservation d'une température gardant, pendant toute l'opération, une suffisante viscosité aux silicates fondus; on obtient ainsi des pièces de toutes dimensions et l'on peut aborder la fabrication de tuyaux de plus de 2 mètres de long.

Le coulage des glaces date de 1691 ; il met en œuvre des masses de verre sans cesse croissantes : la Compagnie de Saint-Gobain en exposait une de 8 m. 15 sur 4 mètres, qui est, actuellement, sans rivale; elle a été dressée et polie mécaniquement par des appareils perfectionnés, qui utilisent les procédés de réglage délicats des machines-outils modernes.

Tous ces produits sont tributaires d'un recuit à température très déterminée, pour lequel on utilise maintenant des fours à gaz d'un maniement précis et facile.

Nous avons déjà indiqué la tendance du verre à entrer de plus en plus dans les matières premières, utilisées par l'architecture; les dalles en verre coulé, l'opaline laminée de la Compagnie de Saint-Gobain ont de multiples applications aux soubassements des édifices, au carrelage des parquets et aux revêtements intérieurs; la pierre de verre Garchey peut remplacer les matériaux de construction usuels. Sa fabrication est fondée sur la dévitrification facile que subissent les verres riches en chaux, soumis à un recuit convenable.

On fond le silico-aluminate au four à bassin (20 tonnes par vingt-quatre heures); on le coule dans un baquet d'eau et l'on passe au broyeur le produit ainsi étonné; une fois classé par grosseur de grain, le verre est tassé dans un *calibre* et recuit pendant trois quarts d'heure dans un four au rouge; il se produit des cristaux enchevêtrés (pyroxène, wollastonite) qui constituent à proprement parler la *dévitrification* du produit; ce dernier est transporté à chaud sous la presse, pour y être façonné et découpé.

Cette pierre artificielle est extrêmement tenace, résistante à l'écrasement et à l'usure, moins fragile que les pavés de quartzite eux-mêmes; d'après M. Houtart, elle est destinée à un grand développement.

La verrerie artistique, dont M. Émile Gallé est le représentant le plus autorisé, a mis en œuvre toute une série de procédés ingénieux qui ressortissent plutôt à l'industrie qu'à l'art et dont, à ce titre, le rapporteur de la Classe 73 s'est occupé en les classant méthodiquement; la gravure sur verre blanc fait bientôt place au décor en couleurs, avec utilisation des émaux transparents et opaques au petit feu. En 1889, Gallé commence à utiliser les morsures rugueuses de l'acide fluorhydrique, qu'il émaille partiellement; en 1900, il présente l'*émail gouaché à la chinoise sur porcelaine de verre.*

Entre temps, les colorations au grand feu le tentent; il abandonne le cristal blanc et recourt aux impuretés, qui le souillent dans sa masse même, pour en faire des ornements, pierre de lune, quartz enfumé; ambre; il incorpore au verre blanc des préparations à base métallique et des verres pulvérisés; puis il s'attaque au genre camée à plusieurs couches; enfin, dans la dernière décade, il imagine *la patine et la marqueterie;* la patine, due à une dévitrification artificielle, ou encore à un empoussiérage organique ou minéral, imite certains tissus, le cuir, la neige, l'eau ruisselante; la marqueterie procède par application à chaud, dans la matière encore molle, de lamelles de verres colorés; on les presse dans la masse, on les y enclôt au moyen d'une couverte, on les ébarbe, on les ciselle.

Nous nous sommes étendu sur les ingénieux procédés, dus au

génie du maître verrier de Nancy; il a eu des émules, il n'a pas encore de rivaux.

Les verreries et cristalleries de France occupent un personnel ouvrier de plus de 20.000 personnes et leur production se chiffre par 120 millions de francs; la fabrication des glaces compte 2.500 ouvriers et 30 millions de produits; l'exportation, qui atteint une valeur globale de 30 millions de francs, l'emporte de beaucoup sur l'importation.

Classe 74.

APPAREILS ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DU CHAUFFAGE ET DE LA VENTILATION.

M. L. d'Anthonay, rapporteur de la Classe 74, nous a donné une série de monographies illustrées des principaux appareils exposés, qui rendent un compte fidèle de l'état actuel de l'industrie du chauffage et de la ventilation; mais en outre, au début de son rapport, il a résumé, de la façon la plus lucide et la plus instructive, l'historique et les progrès récents de cette industrie.

C'est seulement au commencement du XIXe siècle que Rumford rétrécit le fond des *cheminees,* en incline les parois pour réfléchir la chaleur rayonnante et transforme les gouffres béants du moyen âge en appareils moins dispendieux. Lhomond assure le tirage en imaginant le rideau; Péclet et Fondet songent à chauffer l'air en le faisant circuler autour du foyer.

C'est aussi vers 1800 que Franklin invente le *poêle* en fonte fermé; Désarnod l'ouvre sur le devant, pour laisser voir le feu; Joly commence à réduire la vitesse de combustion et à en assurer la perfection; puis viennent les poêles à chargement continu, dont Choubersky construisit un des types les plus populaires.

En même temps le *fourneau de cuisine* naît et se perfectionne; c'est encore Rumford qui le dote du four à rôtir, sorte de coffre en tôle autour duquel circulent les fumées; mais jusqu'en 1889, malgré les progrès de la métallurgie, ces fourneaux ne brillent pas par leur rendement.

Le *chauffage par le gaz* date des brevets pris par Philippe Lebon (1799); mais il ne devient vraiment pratique que lorsqu'on délaisse les becs à flamme éclairante, pour en venir aux becs à flamme bleue dus, dès 1835, à Robison; en 1859, Bunsen simplifie leur construction en les débarrassant de la toile métallique primitivement nécessaire, et dès lors on voit naître les fourneaux de cuisine, le feu bûche à amiante, le foyer à réflecteur, les cheminées à incandescence et à boules, etc.

Les *calorifères à air chaud* commencent la série des appareils destinés au chauffage des grands locaux; la disposition classique à foyer central, d'où les gaz chauds sont attirés dans une série de tuyaux métalliques, baignés par l'air qu'il s'agit d'échauffer, est due à M. Descroizilles. Ces tuyaux étaient primitivement verticaux; la maison Piet-Bellan fut une des premières à les disposer horizontalement pour faciliter leur nettoyage, et à appliquer aux foyers les dispositions en étagères, qui permettent d'utiliser les menus; Michel Perret a perfectionné ces dispositifs, actuellement encore très employés.

Le *calorifère à eau chaude* est, lui aussi, vieux comme le siècle; Duvoir, Leblanc, Grouvelle et Gervais l'ont employé depuis longtemps pour le chauffage des édifices publics.

C'est vers 1843 que Darcet, Thomas Laurens et Grouvelle combinent le chauffage à l'eau et à la vapeur; vers 1878, l'invention de purgeurs automatiques coïncide avec une grande extension du chauffage à vapeur, dont certaines maisons, telles que Geneste et Herscher, réussissent à assurer le bon fonctionnement pratique.

Puis, vers 1889, nous recevons d'Amérique le chauffage à vapeur à très basse pression, qui supprime les purgeurs et constitue, à proprement parler, une sorte de distillation à air libre, évitant le danger et les sujétions des appareils sous pression notable.

Durant la **dernière décade**, les progrès sont notables et portent indistinctement sur toutes les branches de l'industrie; ils se ressentent du progrès général de la métallurgie de l'acier, et aussi de la tendance à l'emploi généralisé de machines-outils perfectionnées.

Parmi les **calorifères**, nous noterons l'extension du chauffage à vapeur à très basse pression, l'emploi de chaudières à chargement

continu, dont on règle la combustion en étranglant plus ou moins l'entrée de l'air; on utilise dans ce but des régulateurs à membrane (manométriques) ou à mercure, parfois des régulateurs de température, dont les maisons Grouvelle et Arquembourg et Dorian ont exposé des types intéressants.

Le calorifère à eau chaude ne nous a fourni, comme progrès notables, que l'emploi de propulseurs mécaniques permettant la diminution du diamètre des longues conduites, et celui de régulateurs de pression (Chibout, Pommier et Delaporte).

Quant au calorifère à air chaud, il est stationnaire; car on ne peut lui compter, comme progrès, les tentatives de fumivorité qui s'appliquent à tous les foyers de l'industrie.

Les **poêles mobiles**, toujours très employés à cause de leur chargement commode et de leur fonctionnement économique, présentent toujours aussi les mêmes causes de danger : production exagérée d'oxyde de carbone, par suite d'un tirage insuffisant; tout au plus peut-on constater une tendance à augmenter ce tirage.

Les **fourneaux de cuisine** se construisent maintenant en tôle d'acier légère, peu cassante, d'un transport moins onéreux; cette révolution, terminée en Amérique, est à peine naissante chez nous.

Nous avons à noter, dans le **chauffage au gaz**, le triomphe désormais acquis de la flamme bleue (souvent avec récupération et réchauffement de l'air comburant) sur la flamme blanche, l'envoi hygiénique des produits de la combustion dans des cheminées d'évacuation, le réglage rendu facile, la fixité de la flamme, les distributeurs automatiques d'une quantité déterminée de gaz contre payement préalable.

Le **chauffage électrique** vient de naître avec la création de résistances métallo-céramiques, dont la maison Parvillée exposait de remarquables spécimens; c'est le type idéal du chauffage facilement réglable, propre et hygiénique; son extension dépend exclusivement

de l'abaissement du prix de l'énergie électrique; on peut malheureusement prévoir qu'il ne sera jamais économique; cependant ses applications à la cuisine sont, dès à présent, d'ordre pratique dans certains cas, tels que celui du restaurant de la «Feria», à l'Exposition.

Voici, d'après M. d'Anthonay, le prix de revient comparatif des principaux agents de chauffage et de cuisson : pour chauffer une salle de 75 mètres cubes, il faut développer 2.200 calories par heure; elles coûtent :

Au bois dans des cheminées		0f 30c
Au charbon	dans des poêles	0 06
	dans des calorifères	0 05
Au gaz (à 0 fr. 20 le mètre cube)		0 22
A l'alcool, au pétrole ou à l'essence		0 20
A l'électricité	(à 0 fr. 50 le kilowatt)	1 37
	(à 0 fr. 30 le kilowatt)	0 80

Pour rôtir un kilogramme de viande, il faut 1 kilogr. 300 de charbon, 0 m. c. 200 de gaz ou encore 500 watts, ce qui donne les prix de revient suivants :

Charbon	à 70 francs la tonne	0f 09c
	à 40 francs la tonne	0 05
Gaz	à 0 fr. 30 le mètre cube	0 06
	à 0 fr. 20 le mètre cube	0 04
Électricité à 0 fr. 30 le kilowatt		0 25

Classe 75.

APPAREILS ET PROCÉDÉS D'ÉCLAIRAGE NON ÉLECTRIQUE.

Le rapport sur les appareils et procédés d'éclairage non électrique est dû à M. Henri Luchaire; il nous permet d'aborder, avec la garantie de sa haute compétence, l'étude des procédés nouveaux qui luttent, souvent avec avantage, contre l'éclairage électrique. Les divers modes d'incandescence, appliqués non seulement au gaz, mais au pétrole et surtout à l'alcool, et l'emploi de gaz riches, parmi lesquels l'acétylène s'est fait une place prédominante, tels sont les

moyens nouveaux ou rénovés, qui nous donnent désormais pratiquement une lumière éclatante, à bon marché.

Il est curieux de remarquer, avec M. Luchaire, que l'*incandescence par l'alcool* a été essayée, en 1846, par M. Frankenstein, de Gratz; elle a pris une extension sans cesse croissante, depuis que les manchons à oxydes de thorium et de cerium ne sont plus protégés par des brevets exclusifs; la vaporisation de l'alcool se fait au moyen d'une veilleuse spéciale ou par l'intermédiaire d'une tige métallique conductrice, fixée à la chambre de vaporisation; les derniers concours du Ministère de l'agriculture ont prouvé qu'il existe, dès à présent, des types viables donnant, pour l'usage domestique, de 20 à 50 bougies, avec une consommation de 2 à 3 grammes par bougie-heure, environ 20 à 30 grammes par carcel; nul doute qu'on n'arrive à immobiliser l'alcool au moyen de matières poreuses analogues à celles qui servent aux accumulateurs et aux piles, et à consolider le manchon d'incandescence pour permettre un transport plus facile et moins délicat de ces appareils domestiques, dont l'avenir nous paraît assuré.

L'*incandescence par le pétrole* est spécialement appliquée aux usages publics et aux phares; elle suppose une légère mise en pression des réservoirs de pétrole, qui doit monter dans une petite chaudière et se volatiliser, avant d'arriver au brûleur; l'allumage est assez laborieux et les encrassements doivent être évités; moyennant des soins et des précautions qu'un service organisé peut prendre, il est très économique : des brûleurs de 30 à 70 carcels consomment environ 6 gr. 6 par carcel-heure.

L'ingénieuse invention de M. Auer von Velsbach, dont le brevet date de 1885, est venue à son heure et a empêché le *gaz* de rétrocéder définitivement devant l'éclairage électrique; la fabrication des manchons ne s'est régularisée qu'en 1891; ce sont des mailles en coton ou en ramie, imbibées d'une solution contenant 98 à 99 p. 100 d'oxyde de thorium, contre 1 à 2 p. 100 d'oxyde de cerium; actuellement, le bec Baudsept réduit la consommation à 12 litres de gaz par carcel-heure; on est loin des lampes à récupération qui faisaient l'ornement de l'Exposition de 1889, avec 50 litres de consommation, et surtout des becs papillon avec 105 litres. Et cependant, tel est le

besoin d'un excès de lumière que, malgré l'éclairage électrique, l'acétylène et l'alcool, la consommation de gaz à Paris a progressé, dans les dix dernières années, de 307 millions de mètres cubes à 325. Tout récemment, on est arrivé à une application pratique des substances catalytiques (mousse de platine, etc.) au self-allumage des brûleurs.

L'Exposition de 1900 a fait application sur une grande échelle de l'incandescence par le gaz, avec et sans surpression; elle consommait par heure 1.384 mètres cubes et fournissant 91.000 carcels à une surface de 195.000 mètres carrés; on remarquera que la consommation par carcel-heure s'élevait pratiquement à 15 litres, chiffre qui, dès aujourd'hui, ne serait plus atteint. Il est intéressant aussi de faire ressortir qu'en 1889 le mètre carré superficiel était quatre fois moins éclairé (19.000 carcels pour 178.000 mètres carrés).

Les manchons Auer sont entrés définitivement dans la pratique en 1891; c'est également dans la dernière décade que *l'acétylène* s'est révélé comme une source à bon marché de lumière éclatante : M. Moissan a obtenu le carbure de calcium dans son four électrique, à la fin de 1892; il donnait la composition exacte de ce produit en 1894.

Actuellement, la préparation du carbure de calcium ne laisse rien à désirer; théoriquement, il exige par kilogramme 562 grammes d'eau, produit 1.156 grammes de chaux hydratée et 340 litres d'acétylène. L'acétylène est un corps endothermique; M. Berthelot en a déterminé le caractère explosif et M. Vieille a procédé à de délicates déterminations des pressions d'explosion, correspondant aux diverses pressions initiales; ces expériences ont permis l'emploi, sans danger, de récipients sous pression, pour l'éclairage des chemins de fer et des tramways, ou encore l'usage de l'acétylène dissous dans l'acétone.

Le pouvoir éclairant si intense de ce gaz tient à ses propriétés endothermiques, à son extrême richesse en carbone, enfin à sa haute température de combustion; ces qualités ont pour correctif la puissance détonante de ses mélanges avec l'air et l'étendue des variations qu'ils peuvent subir, dans leur composition, sans cesser d'être détonants : pour 1 volume d'acétylène, l'air peut varier de 3 à 19 volumes; le maximum d'intensité a lieu pour 9 volumes (Gréhant).

Pour bien brûler, le nouveau gaz exige beaucoup d'air, et les becs s'encrassent, s'ils sont susceptibles de s'échauffer; il peut servir à enrichir le gaz ordinaire et le gaz riche. Avec les becs Bullier en stéatite, à branches convergentes, une carcel-heure exige de 7 à 9 litres; l'acétylène est donc de 12 à 15 fois plus éclairant que le gaz de houille; or, son mètre cube revient à peine à 1 fr. 25.

Quant aux générateurs, il en existe de pratiques par contact (briquet à hydrogène), par chute de carbure dans l'eau, enfin par chute d'eau sur le carbure.

Si nous récapitulons, avec M. Luchaire, les prix de revient des diverses sources de lumière domestique à Paris, en y ajoutant l'alcool, nous trouvons la liste suivante :

	PAR CARCEL-HEURE.
Bougie à 2 francs le kilogramme	0f 150
Carcel à l'huile à 1 fr. 10 le kilogramme	0 046
Gaz à 0 fr. 20 le mètre cube, bec Bengel	0 020
Lampe électrique à incandescence à 0 fr. 10 l'hectowatt	0 030
Lampe à pétrole à 0 fr. 75 le kilogramme	0 020
Lampe à incandescence à l'alcool à 0 fr. 50 le kilogramme	0 010
Bec à acétylène (le carbure à 0 fr. 35 le kilogramme)	0 010
Gaz à 0 fr. 20 le mètre cube; bec Auer perfectionné	0 005

Ce tableau nous montre la place qu'occupent les trois modes d'éclairage les plus perfectionnés, incandescence par le gaz, par l'alcool, acétylène. Il est juste de faire ressortir que le gaz a été compté à son prix abaissé (1903), que l'alcool dénaturé sera lui aussi très probablement favorisé et dégrevé, enfin que le prix du courant électrique est artificiellement majoré et également susceptible d'une sérieuse diminution.

TREIZIÈME GROUPE.

FILS, TISSUS, VÊTEMENTS.

CLASSE 76.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA FILATURE ET DE LA CORDERIE.

Le rapport sur la Classe 76 (Matériel de la filature et de la corderie) a été confié à M. J. Imbs, qui, dans un magistral exposé, nous initie aux laborieux progrès de cette industrie, dont l'importance économique ne le cède qu'à celle de quelques industries alimentaires. La tendance, bien nette et de plus en plus accusée, consiste à rechercher l'abaissement des prix de revient par la diminution de la main-d'œuvre, notamment de la plus chère, celle des hommes, et aussi par la meilleure utilisation de la matière première, même quand elle est de basse qualité.

M. Imbs constate d'abord l'extension du *métier continu à anneau*, invention américaine, transplantée en Europe, lors de l'Exposition de 1867. Les perfectionnements, apportés à la broche par Vimont, ont permis une augmentation de la vitesse, qui peut désormais lutter avec celle des self-acting perfectionnés : il faut se représenter que, dans le continu, la broche est toujours tirée excentriquement d'un même côté par la corde motrice, tandis qu'au contraire la résistance du fil excentré, qui entraîne le curseur sur son anneau, prend toutes les directions pour un tour; il y a donc tantôt addition, tantôt soustraction, et l'effort total, subi par la broche, passe par des valeurs sinusoïdales, qui provoquent une vibration et en limitent la vitesse. Le graissage continu, préconisé par Vimont, a permis d'atteindre 9.000 tours à la minute. Cependant, les broches chauffent encore et consomment une puissance de 12 chevaux par 1.000 broches.

M. Imbs pense que l'on dépassera ces résultats, en recourant à un roulement sur galets au collet. En tout cas, les perfectionnements mécaniques sont loin d'être à leur apogée, et cependant, au moyen

de broches perfectionnées, on obtient dès à présent des résultats hors de pair pour les fibres longues et moyennes en tous numéros, et pour les courtes en gros et moyens numéros. En somme, il est seulement nécessaire que les fils puissent supporter une torsion suffisante pour résister à un certain minimum de tension. C'est donc une garantie de qualité qu'on leur attribue, en utilisant, même pour la trame, des fils de continu; or, cette garantie est nécessaire, dans l'emploi des trames teintes en écheveaux et dans celui des métiers à tisser, à changement automatique de canettes, tels que le Northrop.

D'ailleurs, le métier Bazin (Société alsacienne) fournit, dès à présent, des produits à très faible torsion sur fuseaux de 5 à 6 millimètres, par simple perfectionnement de l'anneau et du curseur, et permet de confier au continu non seulement des fils pour trame, mais encore des fils pour bonneterie, qui demandent un caractère floche bien accentué.

Par d'autres procédés, MM. Brocks et Doxey, de Manchester, ont poursuivi la production du fil fin au continu; ils nous ont montré un métier à godets, avec bobine, sur broche centrale folle, simplement soumise à un frein ingénieux, dont l'action variée est réglée par le diamètre même de l'enroulement. M. Imbs a vérifié que ce métier fonctionnait très bien, aux environs de 9.000 tours, en chaîne 80 de coton Jumel, préparé en double mèche.

C'est avec un regret visible que M. Imbs constate ainsi la victoire, de plus en plus accentuée, du continu sur le self-acting qui, lui-même, a remplacé l'ingénieuse mull-jenny, renvidant à la main. Le self-acting, si perfectionné qu'il soit après soixante ans d'efforts, exige une main-d'œuvre intelligente, et l'intelligence en main-d'œuvre se paye cher; certaines de ses transmissions se font par cordes hygrométriques (tambour, scrolls) et exigent un réglage délicat; enfin, la perfection même de son travail donne des produits, qui n'offrent au consommateur aucune garantie de solidité.

En fils moyens, le self-acting absorbe moins de puissance mécanique que le continu; mais il exige des emplacements bien plus étendus. En fils fins, il empiète constamment sur le dernier domaine de la mull-jenny et le conservera encore un certain temps, tant à cause de ses avantages propres que parce qu'il est nécessaire d'utiliser l'im-

mense matériel existant. Il est d'ailleurs presque exclusivement utilisé pour le chanvre.

La *laine cardée* était bien représentée dans son état actuel à l'Exposition; on sait que le seul intermédiaire, entre les appareils de premier dégrossissement et les métiers à filer, est ici la machine à carder; elle livre ses produits à des self-acting à tirage, bien plus compliqués que ceux à cylindres étireurs, usités pour le coton ou pour la laine peignée; l'étirage y est limité par la traction subie par les filaments.

Pour le *coton*, on est arrivé, depuis 1889, à rendre le battage, pour ainsi dire, automatique; l'emploi des cardes à chapeaux chaînés s'est généralisé. Les matières passent d'une machine à l'autre, par aspiration de la masse floconneuse dans des tubes clos; les chargeuses mécaniques, déjà employées pour la laine cardée, sont appliquées au coton. L'exposition de la maison Platt brothers and C°, de Bedham, montrait une installation complète, réalisant les derniers perfectionnements apportés à toutes ces ingénieuses machines.

La *laine peignée*, elle aussi tributaire du continu à anneau, a désormais atteint un état voisin de la perfection et seulement susceptible de progrès de détail; nous signalerons, à titre d'exemple, la commande électrique de diverses machines exposées par la Société alsacienne; on sait que l'une des premières applications de l'électricité aux machines de la filature a consisté dans l'emploi de casse-mèches électriques arrêteurs, qui ont parfaitement rempli leur tâche. Actuellement, il existe une tendance à remplacer les commandes par courroies, par cordes ou même par engrenages, en recourant à des réceptrices multiples. La Société alsacienne exposait un self-acting, pour laine peignée, actionné par deux dynamos, l'une faisant tourner les broches, l'autre mettant le char en mouvement. La même maison exposait un continu à anneau, commandé par une dynamo; un rhéostat, à action automatique, diminue la vitesse de rotation des broches, lorsque le diamètre d'envidage augmente. Pour M. Imbs, la commande électrique est encore trop coûteuse pour détrôner les installations existantes; mais il admet qu'elle régnera sans conteste, en matière de constructions nouvelles, et surtout quand la puissance sera fournie à bas prix par des chutes hydrauliques.

Pour *le lin et la ramie,* la principale innovation consiste en ce que l'on pratique maintenant le blanchiment en produit fini, comme pour le coton.

La filature des *déchets de soie,* d'ailleurs mal représentée à l'Exposition, se sert maintenant de continus à anneau; la soie a une telle résistance que ses fibres, même brisées et courtes, conservent le nerf et le brillant nécessaires. On arrive, au moyen du raclage, à utiliser 25 p. 100 des bourrettes, jadis abandonnées par les filateurs de schappe, sous forme de boutons fortement noués; la Société alsacienne a exposé une peigneuse destinée à cet usage.

Dans la filature de la *soie,* MM. Wegmann et Cie, de Baden (Suisse), montrent une remarquable machine à classer les soies, dans laquelle l'écheveau, à tours comptés, est accroché à un fléau qui le laisse choir dans le compartiment, correspondant au nombre de vingt-quatrièmes de tour qui a amené la rupture d'équilibre. Cette machine est d'ailleurs connue par son excellent fonctionnement pratique.

La *corderie* a subi, depuis une trentaine d'années, sous l'impulsion de l'Américain Good, une transformation mécanique, comparable à celle des filatures de fibres moins grossières et moins résistantes; mais l'Exposition ne contenait, à ce point de vue, que les ingénieuses machines Mac-Cormick, qui livrent annuellement 16.000 tonnes de ficelle pour moissonneuses-lieuses.

En terminant son remarquable rapport, M. Imbs, après une revue rapide des accessoires, appareils d'épreuve et de mise en forme (bobinage, etc.), traite du conditionnement, c'est-à-dire d'une opération destinée à vérifier la nature des produits industriels, avec toutes les garanties nécessaires d'indépendance et d'impartialité. La condition publique de Lyon, administrée par la Chambre de commerce, existe depuis le commencement du siècle; après dessiccation convenable, obtenue pour la soie au moyen d'air à 120 degrés, chauffé par voie électrique, on pèse une longueur de 500 mètres de fil en centigrammes. Le poids net est majoré de 11 p. 100. Le titrage des autres textiles est obtenu par le nombre de kilomètres de fil, contenus dans un kilogramme. En 1889, la condition de Lyon a traité 5.834 tonnes de soie; en 1899, 7.490.

IMPRIMERIE NATIONALE

Il convient de rappeler ici que le travail des différents textiles exige des états hygrométriques très variés, que l'on n'obtient qu'au moyen d'ingénieux appareils d'humidification et de ventilation. Ainsi, le coton présente sa résistance maxima au travail de la filature, pour 25 à 28 degrés centigrades et 70 degrés de l'hygromètre. Le lin filé à sec, à plus basse température, exige le même degré hygrométrique. La laine et la soie demandent une atmosphère plus humide, et la schappe se trouve bien de la saturation qui, seule, combat les effets nuisibles des attractions et répulsions électriques.

Ainsi, en résumé, l'industrie de la filature est plus que jamais tributaire du progrès du mécanisme; l'électricité commence à s'y insinuer, non seulement à titre de servo-moteur, mais comme moteur proprement dit, aux dépens des autres moyens de transmission mécanique. La substitution du continu à anneau, d'origine américaine, au self-acting et à la mull-jenny n'est plus qu'une affaire de temps et d'amortissement du matériel existant. Dans ce métier, les progrès déjà accomplis concernent surtout les broches, les anneaux et les curseurs; ils sont loin d'avoir atteint la perfection désirable et il semble que le champ ouvert aux inventeurs, tant pour la diminution du frottement des axes que pour la suppression des vibrations et le réglage de la tension et de la torsion des fils, soit encore fort étendu. Et cependant le métier continu est déjà triomphant, surtout à cause de l'économie de main-d'œuvre qu'il procure à l'industrie; cette cause de supériorité nous paraît tellement importante et son importance nous semble devoir grandir à tel point, dans un avenir prochain, que, d'accord avec M. Imbs, nous en faisons le fait capital qui domine actuellement l'industrie de la filature.

Classe 77.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA FABRICATION DES TISSUS.

Dans un rapport complet au point de vue technique et, par conséquent, riche en enseignements de toute nature, M. Henry Danzer a rendu compte des nombreux appareils et métiers exposés dans la

Classe 77. Les progrès sont importants et ne se résument pas seulement par quelques perfectionnements de détail : les tissus de coton commun, les velours, la bonneterie et notamment les tissus tricotés, enfin les tapis ont, depuis 1889, bénéficié d'inventions magistrales. Nous allons tenter d'en exposer sommairement les principes et surtout les résultats, malgré la difficulté du sujet.

Les *tissus de coton unis* disposent désormais d'un métier, le Nor throp, dans lequel le changement de la trame se fait automatiquement, sans arrêt, tandis qu'au contraire un casse-chaîne perfectionné arrête l'appareil en cas de rupture. L'invention est tellement capitale que nous allons chercher à en donner une description synthétique.

C'est la canette, portant la trame, qui est automatiquement expulsée et remplacée par une nouvelle canette chargée, quand elle est au bout de son chargement ou quand le fil se casse. Un casse-trame à petits leviers, dont un des bras s'appuie sur le fil de trame et tombe quand le fil manque, porte à son autre bras une encoche qui arrête alors un cran à va-et-vient, dont l'accrochage déclenche un revolver portant des canettes pleines, fixées d'un seul côté entre deux ressorts à rainure; en même temps, un doigt s'abaisse et pousse une canette pleine sur la vide qui est chassée de la navette, dont l'œil reçoit automatiquement le nouveau fil. Tous ces mouvements se produisent presque instantanément; le levier du casse-trame se relève, et le travail continue sans intervention de l'ouvrier.

Pour les tissus fins, le casse-trame est doublé d'un doigt tâteur qui agit avant l'entière disparition du fil, quand l'enroulement sur la canette a suffisamment diminué son diamètre; la perte de fil peut être limitée à 1 ou 1,5 p. 100.

Depuis 1895, 30.000 métiers Northrop fonctionnent aux États-Unis et, malgré leur prix, double des anciens, une économie considérable est réalisée sur la main-d'œuvre. La Société alsacienne et les ateliers de construction de Rüti exposaient des métiers Northrop. On remarquera que le Northrop, comme le continu à anneau, nous vient d'Amérique; la supériorité des États-Unis, dans l'invention des machines-outils, et surtout leur hardiesse dans l'application, ne se démentent pas.

La fabrication des *cotonnades* a réalisé un autre progrès marquant, depuis 1889, et qui a permis d'augmenter de 25 p. 100 la production de certains métiers, tout en réduisant la force motrice nécessaire à la mise en action de l'appareil; nous voulons parler du métier à quatre navettes pour cotonnades, exposé par les ateliers de construction Diederichs, à Bourgoin-Jallieu; les différentes positions des boîtes sont désormais obtenues par le moyen d'excentriques, dont les mouvements combinés permettent de faire tous les sauts de boîte, avec une très grande vitesse, mais sans choc et en douceur. On peut obtenir ainsi la chemise flanelle-coton, à 180 coups à la minute, au lieu de 130.

Tous les détails des métiers pour *lainages et soieries* ont été perfectionnés : régulateur différentiel, compensation des inégalités de la trame, chasse à sabre, lancée de la navette réglable en marche, sans outils spéciaux, tout le mécanisme a subi l'examen subtil et, pour ainsi dire, le polissage de la pratique, armée de la puissance mécanique sans cesse croissante dont nous disposons. Le résultat est un gain très appréciable dans la vitesse industriellement réalisée.

Avec le *velours*, nous assistons à des progrès plus notables encore; la maison Béridot exposait des métiers tissant à la fois quatre pièces en velours de soie ou deux en peluche de soie pour chapellerie. Le fonctionnement du couteau, qui coupe la chaîne et détermine la hauteur des poils, est maintenant réglable avec une exactitude presque mathématique; il n'agit que dans un sens, s'arme à gauche, se désarme au bout de sa course. La production est huit à dix fois supérieure à celle du tissage à la main et la qualité est aussi belle; un tel métier fournit 16 mètres de velours en dix heures de marche.

Le travail des *tapis* s'est enrichi, grâce à M. Duquesne[1], d'un métier mécanique reproduisant économiquement le tapis de Smyrne, avec son moelleux et sa solidité. Tandis que, dans le velours et la moquette, les mouchets ou boucles de la chaîne sont simplement achevalés sans résistance sur les fils de trame du fond, qui reste apparent à l'envers, il est ici nécessaire de réaliser le nouage des bouts de trame insérés

[1] Voir également Classe 70, page 295.

autour des fils de chaîne. Dans ce but, le fond est composé de deux chaînes, comme dans les machines à tulle, l'une fixe, la seconde composée de fils dits *de tour* et qui sont tantôt à droite, tantôt à gauche des fils fixes; leurs entrelacements alternatifs sont fixés par une trame de liage de même nature. Ici, les couteaux passent dans les boucles de la trame et les tranchent en temps voulu.

L'Exposition nous a montré des *appareils brodeurs* (Veyron) qui s'appliquent à tous les métiers à tisser, avec ou sans jacquard. Les effets de dessin sont obtenus, pendant le tissage même, au moyen de cames ou excentriques à profils variés.

La *passementerie* possède enfin une machine, qui applique automatiquement sur les tissus la *broderie perlée;* le travail est bien fait et à bon marché [Ledreux et Barher, à Annaberg (Saxe)].

Désormais, nous ne sommes plus tributaires de Nottingham pour la construction de ces énormes et remarquables *métiers à tulle et à dentelle,* dont se sert l'industrie calaisienne : M. J. Quillet, à Calais, en construit environ 14 par an; chacun pèse 10 à 12 tonnes et représente une valeur de 16.000 à 30.000 francs. A Chemnitz, la Maschinenfabrik Kappel construit des métiers dits *double locker system,* de 5 m. 50 de largeur utile, avec 4.840 fils de chaîne et autant de navettes, d'une valeur moyenne de 21.000 francs.

De l'avis du rapporteur de la Classe 77, ce sont les métiers de *bonneterie*[1] qui ont réalisé les progrès les plus surprenants durant la dernière décade. Il énumère les succès de M. Bonamy, à Saint-Just-en-Chaussée, successeur de Jacquin, lui-même inventeur des métiers à mailleuses. La dernière création (1895) concerne un métier rectiligne à faire les devants de gilet à dessins piqués. Mais il convient de rappeler succinctement les métiers circulaires à gilets, ceux concernant les filets de pêche, les chaussons, les bérets et fez, sortis des mêmes ateliers.

M. Buxtorf, à Troyes, a la spécialité des tissus réticulaires; il a agencé un jacquard électrique, dans lequel le dessin se produit au moyen de cylindres reproducteurs et par contacts électriques.

[1] Voir Classe 86, page 337.

La Société générale de bonneterie, à Troyes, a appliqué aux machines Cotton, dont elle a la spécialité, le cueillage direct, permettant la production de lisières sans coupures.

Avec MM. Seyfert et Donner, à Chemnitz, nous trouvons une des inventions capitales de la dernière décade : leurs *machines à tricoter* peuvent désormais passer automatiquement la maille d'une aiguille à une autre, et ces métiers fabriquent maintenant les articles façonnés comme les métiers hollandais au coton. Une des tricoteuses exposées, à huit têtes, fabriquait des jarrets de bas à côtes, avec augmentation et diminution automatique, et en produisait 25 douzaines de paires par jour. Une autre faisait automatiquement les bas et chaussettes à maille unie, y compris le talon et la pointe renforcés, et en produisait 120 douzaines de paires par semaine.

Comme on le voit par ce qui précède, le progrès universel des machines-outils s'applique à toutes les branches de l'activité humaine; les perfectionnements dans la qualité des métaux, dans les modes de graissage et d'huilage continus, dans la substitution du frottement de roulement à celui de glissement, enfin dans la commande des mécanismes précis et compliqués, ont eu et auront, de plus en plus, leur répercussion dans l'art de filer, de tisser et d'orner les textiles. A un certain point de vue, l'invention géniale d'un Jacquard peut être assimilée à une sorte de servo-moteur et l'on commence à entrevoir qu'elle pourra être heureusement modifiée par des agencements à contacts électriques. Il en est de même du mode d'action des casse-trame et des casse-chaîne. Les métiers à tisser nous paraissent entrer dans une phase intermédiaire, dans laquelle leurs constructeurs s'inspirent encore et surtout des traditions du passé, si subtiles et si ingénieuses, mais commencent, en outre, à s'aider des méthodes et des agents nouveaux; à ce point de vue, nous partageons l'opinion de M. Henry Danzer, qui considère, à juste titre, les machines de la bonneterie comme marchant actuellement en tête du progrès.

Classe 78.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DU BLANCHIMENT, DE LA TEINTURE, DE L'IMPRESSION ET DE L'APPRÊT DES MATIÈRES TEXTILES À LEURS DIVERS ÉTATS.

Dans son rapport sur la Classe 78, M. Prud'homme a magistralement développé les progrès que le blanchiment, la teinture, l'impression et l'apprêt des matières textiles, à leurs divers états, ont réalisés dans leur matériel et dans leurs procédés.

En première ligne apparaissent les diverses applications du *mercerisage,* qui ont, pour ainsi dire, renouvelé les emplois du plus modeste des textiles, le coton, dont la fibre, presque exclusivement composée de cellulose et ressemblant à une spirale aplatie à bords épais, subit, sous l'action des alcalis caustiques, des modifications remarquables à tous égards.

Dès l'origine, Mercer (1844) avait constaté que cette action, qui aboutit à hydrater la cellulose, en contracte de 20 à 25 p. 100 les fibres et en augmente l'éclat, la transparence et la résistance à la rupture. Diverses applications avaient eu pour résultat l'obtention de tissus crêpés, crispés, bosselés, gaufrés. Mais c'est au **mercerisage sous tension** qu'on doit ces tissus de coton d'Égypte, qui peuvent réellement rivaliser avec le brillant de la soie; M. Lowe (1890), MM. Thomas et Prévost de Crefeld (1896) ont successivement imaginé le nouveau procédé et établi les résultats qu'il pouvait donner.

Le mercerisage sous tension s'applique aux écheveaux ou aux tissus; il s'obtient par l'action d'une solution concentrée de soude caustique, suffisamment refroidie pour que son action dissolvante s'arrête à la cuticule rugueuse qui entoure le fil de coton, dont la surface, devenue plus unie et plus transparente, reflète brillamment la lumière. On augmente encore ce brillant, en soumettant les produits à une forte pression avant séchage; enfin, on obtient des effets de damassés, en imprimant auparavant sur les tissus des réserves à l'albumine ou à la caséine, sur lesquelles la soude caustique n'agira pas.

Le lustre, ainsi obtenu, est permanent et n'est plus détruit par les lavages, comme celui que fournit le calandrage.

L'industrie des **soies artificielles** figurait déjà à l'Exposition de 1889, avec la solution de nitro-cellulose dans l'éther due à M. de Chardonnet; passés à la filière et reçus dans l'eau, les fils sont ensuite dénitrés et donnent une fibre souple à grande affinité pour les couleurs basiques, comme les oxycelluloses. Malgré son manque relatif de résistance et d'élasticité[1], la soie de Chardonnet présente un éclat si remarquable, qu'elle a su conquérir une place considérable en passementerie.

La solution de cellulose dans la liqueur de cuivre ammoniacal, dite *de Schweitzer*, avait été préconisée dès 1890 par Despeissis; reprise et perfectionnée par M. Pauly en 1897, elle a été appliquée à la cellulose hydratée, qu'on obtient facilement en traitant le coton par la soude caustique.

M. Bronnert a préconisé un autre dissolvant du même produit, le chlorure de zinc concentré, qui sert à la fabrication des filaments pour lampes à incandescence.

Mais le produit artificiel le plus remarquable, dont l'industrie des textiles ait bénéficié dans la dernière décade, est la *viscose*, due aux ingénieuses et patientes recherches de MM. Cross, Bevan et Beadle. Pour l'obtenir, on traite la cellulose (coton défibré, pâte de bois, etc.) par moitié de son poids de soude caustique; l'alcali-cellulose, ainsi obtenue, est soumise en vase clos, à la température ordinaire, à l'action du sulfure de carbone (40 p. 100 du poids de cellulose initiale). Après trois heures d'action, on retire un produit en grumeaux, soluble dans l'eau; la solution habituellement employée contient 10 p. 100 de cellulose. Elle se gélatinise spontanément, en huit à dix jours, et rapidement par la chaleur vers 90 degrés.

Le viscoïde ainsi obtenu est dur, corné, susceptible de prendre un beau poli, extraordinairement tenace et résistant, même sous forme de pellicule. Par impression et addition de pigments appropriés

[1] 14 kg. 7 par fil sec de 1 millimètre de diamètre; 1 kg. 7 par fil humide.

(blanc de kaolin, etc.), on obtient des damassés remarquables et, dit M. Prud'homme, relativement permanents; la viscose peut remplacer avantageusement les apprêts à l'amidon ou à la fécule; enfin elle se prête à l'obtention de tissus gaufrés imitant le cuir, pour l'ameublement et la reliure. M. Stearn en a fait des fils de 1 millimètre à 1 centième de millimètre de diamètre, auxquels il a donné le nom de *lustrose*, dont la ténacité est voisine de celle de la soie[1], et dont l'élasticité est considérable; doués d'un beau brillant, ils résistent aux lessivages alcalins, à l'action du chlore, et supportent bien la teinture.

Nous renvoyons au substantiel rapport de M. Prud'homme, pour l'étude des progrès accomplis dans l'art de teindre les textiles; les matières colorantes artificielles se sont tellement multipliées et ont simplifié d'une façon si inattendue la technique de cette industrie, qu'elle constitue désormais une sorte de science autonome[2]; notons seulement le développement des couleurs bisazoïques, susceptibles de teindre directement le coton et même la laine et la soie; notons aussi la production toute récente de l'indigo artificiel et sa lutte, déjà notable, avec l'indigo naturel, lutte dont les premières phases semblent rappeler celle de la garance avec l'alizarine artificielle.

Le progrès des machines est en tout comparable à celui des industries chimiques : la teinture des écheveaux, celle du coton et de la laine en mèches, le blanchiment et la teinture des canettes en cuves, sous l'action du vide, la fixation des mordants, le vaporisage, le savonnage, tout l'ensemble des opérations de finissage, se font désormais mécaniquement et d'une façon continue; d'où réduction de main-d'œuvre, malgré une augmentation sensible du prix de la journée ouvrière.

Il convient de remarquer, en terminant, que nous avons doublé nos machines à imprimer, depuis 1889, et que nos exportations prennent un réel développement, depuis l'application des tarifs douaniers, notamment à Madagascar : les tissus de coton exportés en 1899 sont évalués à un total de 81.000.000 de francs, contre 54.000.000 en 1897.

[1] 21 kg. 5 par fil de 1 millimètre de diamètre. — [2] Voir Classe 87, page 345.

Classe 79.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA COUTURE ET DE LA FABRICATION DE L'HABILLEMENT.

C'est à M. E. Stasse, directeur de la Belle-Jardinière, que nous devons le rapport sur la Classe 79; le matériel et les procédés de la couture et de la fabrication de l'habillement ne pouvaient être décrits et jugés par un rapporteur plus compétent; ses conclusions sont à retenir : les machines à confectionner les vêtements se perfectionnent et se répandent de plus en plus; les machines à coudre, arrivées à un état de perfection qui se modifie peu désormais, ont leur place dans toutes les familles. La broderie, pour vêtements et pour ameublement, est du ressort de la mécanique, ainsi que la fabrication intégrale de la chaussure et du chapeau.

Dans tout le domaine de la Classe 79, jusque dans les détails du découpage et du repassage, nous assistons au triomphe de la petite machine-outil, dont la machine à coudre américaine a été le prototype; grâce à ce triomphe du mécanisme, la main-d'œuvre a vu sa puissance productrice décuplée, parfois même centuplée, et le bon marché n'est plus exclusif de la bonne qualité.

Nous allons passer sommairement en revue les progrès très notables, accomplis durant les dix dernières années. Pour les *machines à coudre*, on en est déjà réduit aux perfectionnements de détail et à la spécialisation des divers types. La canette, légèrement augmentée, contient 10 p. 100 de fil de plus que dans les anciens spécimens; l'angle d'oscillation du crochet s'est accru. Le graissage se fait automatiquement et la vitesse peut atteindre 3.500 tours par minute.

Des types spéciaux pour coudre les boutons de chaussures, les courroies de caoutchouc, les bâches, pour border les chapeaux de feutre (Singer), pour coudre en fil poissé les objets de sellerie et de bourrellerie (Diligeon et Cie), pour percer et terminer par jour 5.000 à 6.000 boutonnières (Sewing Mach. Company, de Boston), pour faire et finir la couture des sacs (Lecomte, à Paris), ont reçu la sanction de la pratique et faisaient l'ornement de l'Exposition.

Les *couso-brodeurs* sont des machines à coudre, suivant des dessins déterminés; ne travaillant qu'avec quelques aiguilles, elles ne font qu'une seule broderie à la fois, en général à point de chaînette, qui doit être vu du côté de la boucle; elles datent en réalité de la découverte de Bonnaz (entraînement universel, 1863), qui permet, au moyen d'une manivelle, de changer en courbe quelconque l'entraînement rectiligne de l'étoffe par un pied de biche.

La maison Cornély exposait des couso-brodeurs très remarquables, susceptibles, au moyen de plusieurs aiguilles, de produire des broderies volumineuses avec perles, ganses, festons.

On trouvera, Classe 84, mention des *métiers à broder* basés sur l'emploi du pantographe, les uns faisant le point de passé avec des aiguilles à double pointe, les autres dits *à fil continu*, rappelant entièrement le point et la façon des machines à coudre[1]. Tout comme M. Hénon, le rapporteur témoigne de son admiration pour les machines, sorties des mains de M. Saurer et désormais munies d'appareils mécaniques pour remplacer les aiguilles dont l'aiguillée est usée, et d'engins spéciaux pour enfiler les aiguilles.

La fabrication mécanique des *chaussures* était déjà dotée de ses principales machines en 1889; mais nous les retrouvons fort améliorées et surtout complétées de telle sorte que désormais leurs produits peuvent réellement rivaliser avec ceux fabriqués à la main. Nous suivrons M. Stasse dans la description qu'il donne des engins de la «Collectivité américaine», dont la série était la plus intéressante et la plus complète de toutes à l'Exposition.

Deux petites machines, déjà appliquées en 1889, gravent la semelle première et la relèvent. Puis elle est renforcée et emboîtée au moyen d'une nouvelle machine, qui colle la toile avec une composition à base de caoutchouc. La première semelle et la tige sont ensuite fixées sur la forme, qui accompagnera la chaussure à venir jusqu'à son achèvement; le montage se fait par l'entremise d'une machine également nouvelle, dont l'organe principal est une pince qui tire sur les diverses parties de la tige, comme dans le travail à la main. A mesure

[1] Classe 84, page 334.

que la tige est tendue et appliquée sur la forme, un semenceur automatique la fixe au moyen de pointes sur la première semelle. A l'endroit du talon, c'est une petite plaque qui tend et rabat la tige, puis le semenceur la fixe au moyen de petites semences. A la pointe, c'est un fil de fer qui maintient la tige avec une tension réglée à volonté; l'emploi de ce fil de fer supprime le faufilage. Cette machine remarquable peut monter 200 paires de chaussures par jour.

Dès lors commence le travail de la couture; la trépointe, petite bande de cuir préparé et égalisé, est cousue à fil poissé, en même temps que la tige, sur la lèvre relevée de la première. Puis les parties de tige et de trépointe, qui dépassent, sont enlevées par un couteau circulaire dentelé; la couture est aplatie à coups répétés par un petit marteau; le creux, qui subsiste encore alentour du bourrelet, formé par la couture, est garni de morceaux de cuir ou de liège et de colle à base de caoutchouc. Enfin on colle la semelle sur la première et on maintient la pression nécessaire pendant le temps voulu, au moyen de la «machine à afficher les semelles sur forme».

Vient ensuite le brochage, qui consiste à couper régulièrement le bord de la semelle et de la trépointe, à une distance fixe du corps de la chaussure; le travail se fait au moyen d'une lame oscillante, qui rabote la semelle et la trépointe par petits coups successifs; en même temps, un petit couteau grave la semelle à la place où se fera la couture. Celle-ci est procurée par une machine à coudre, à alène et aiguille semi-circulaires; le fil est poissé ou gommé à chaud. La machine, qui fait un travail excellent, est capable de coudre 150 paires par journée de dix heures.

Il ne reste plus qu'à rabattre les bords de la gravure sur la couture, à astiquer la semelle au moyen de disques et de rouleaux, et à faire la toilette de la couture sur la trépointe en pratiquant de petites rainures entre chaque point, de façon à faire disparaître les saillies. Le talon est cloué de l'extérieur, au moyen de clous coniques sans tête qui se rivent d'eux-mêmes à l'intérieur sur une plaque de tôle que porte la forme; à l'extérieur, ils dépassent un peu et c'est sur eux enfin que l'on fixe par pression le bon bout, que l'on orne

d'ailleurs en enfonçant, à sa périphérie, de petites pointes d'acier ou de laiton.

Les bords du talon et de la semelle sont ensuite livrés à la machine à fraiser, à polir, à noircir.

Les *machines à couper les tissus* ont abaissé, dans une très grande proportion, le prix de revient des vêtements confectionnés; elles datent de 1867 et se sont peu modifiées; ce sont en somme des scies à ruban, soit rectilignes, soit à dents arrondies; on évite, autant que possible, les ruptures en augmentant le diamètre des poulies, et on diminue les résistances passives en montant les axes sur billes et en recourant aux moyens de graissage perfectionnés.

Parmi les autres machines ingénieuses rentrant dans la Classe 79, nous signalerons, avec le rapporteur, quelques machines à repasser, utilisant l'arc voltaïque ou le chauffage par résistances électriques, et un appareil à fabriquer les boutons métalliques (Caron et Cie) qui découpe, perce et estampe les parties antérieure et postérieure des boutons, les assemble par emboutissage et les livre, achevés, à raison de 30 par minute.

CLASSE 80.

FILS ET TISSUS DE COTON.

En 1888, les États-Unis produisaient 7 millions de balles de coton de 400 livres; en 1898, 11 millions; le progrès est d'un tiers et mesure bien la faveur croissante accordée aux fils et tissus de coton. M. H. Déchelette, rapporteur de la Classe 80, trouve ce succès justifié par la solidité, la durée et le bon marché de ce roi des textiles, auquel les méthodes modernes ajoutent la grâce et la beauté : le procédé de John Mercer (1848), rajeuni en 1895 par Thomas et Prévost, a pris une grande extension; le mercerisage du coton lui donne l'aspect même de la soie; en même temps, l'application des jacquards et des armures a permis d'obtenir les plus remarquables effets et des combinaisons très artistiques.

Le résumé suivant, extrait du rapport de M. Déchelette, donne

une notion nette des progrès accomplis par les principales nations manufacturières :

L'*Angleterre* tient la tête avec 45 millions de broches, 700.000 métiers à tisser, 530.000 ouvriers; elle alimente encore à peu près la moitié de la consommation totale.

Les *États-Unis* viennent ensuite avec 18 millions de broches; ils ont triplé leur production en trente ans; l'introduction du Northrop qui, pour les tissus unis, remplace instantanément et sans ralentir une canette vide par une pleine, est en voie de transformer le tissage.

L'*Allemagne* consommait, en 1889, 224 millions de kilogrammes de coton; elle en manufacture actuellement 315 millions avec 8 millions de broches et 80.000 métiers à tisser.

L'*Autriche* compte aussi 8 millions de broches et 80.000 métiers à tisser.

La *Russie* a doublé sa production en dix ans; elle compte actuellement 8 millions de broches, et ses filatures, très perfectionnées, utilisent pour la plupart, des transmissions d'énergie électriques.

L'*Italie*, le *Mexique* font des progrès rapides dans la filature et le tissage du coton; l'Italie compte déjà 2 millions de broches et 100.000 métiers à tisser.

En *France*, nous sommes restés à peu près stationnaires depuis 1889, passant de 5 millions à 5 millions et demi de broches; seulement la protection douanière, acquise à nos manufactures, leur a permis de renouveler leur matériel, et les métiers continus remplacent de plus en plus les self-actings. La filature met en œuvre 130 à 135 millions de kilogrammes de coton et fait vivre 45.000 ouvriers.

Quant aux métiers à tisser, ils ont passé de 72.000 à 100.000, occupant 85.000 ouvriers et manufacturant des produits qui valent environ 200 millions de francs.

Nous produisons maintenant la chaîne double mèche, pour laquelle nous étions jadis tributaires de la Suisse, et nous avons réalisé de grands progrès dans les filés teints en bourre ou en bobine, jaspés et mélangés.

Classe 81.

FILS ET TISSUS DE LIN, CHANVRE, CORDERIE.

M. Edmond Faucheur, rapporteur de la Classe 81, fait ressortir d'une façon frappante que les progrès de la filature et du tissage des fils et tissus de **lin** coïncident avec la disparition progressive de sa culture, non seulement en France, mais dans presque tous les pays d'Europe; seule la Russie produit à bon compte la matière première et en a développé la culture; la qualité a rétrocédé, le bon marché triomphe presque partout, excepté dans quelques-unes de nos manufactures normandes. En fait, nous ne produisons plus un dixième de notre propre consommation, bien que notre sol et notre climat soient favorables à la culture du lin. Par contre, nos exportations en tissus et surtout en fils écrus vont croissant: M. Faucheur estime que le tissage a augmenté sa production de 10 p. 100 depuis 1889; la filature, à peu près stationnaire, compte 500.000 broches. La fileterie et la retorderie (fils à coudre) ont toujours un grand succès; notre exportation a doublé depuis 1878; la production peut être estimée à 25 millions de francs.

Le **jute** (chanvre du Bengale), dont notre colonie de l'Indo-Chine essaye d'acclimater la culture, n'a cessé de progresser; son importation actuelle en France est de 82.000 tonnes; elle a triplé depuis 1878; là encore, la façon de notre main-d'œuvre est appréciée et nos exportations, en sacs et tissus, sont en voie d'accroissement notable; nous possédons environ 85.000 broches en activité.

La **ramie** (Chine, îles de la Sonde, Indo-Chine) donne des tissus incorruptibles et d'une solidité incomparable; leur prix est d'ailleurs plus élevé que ceux des tissus similaires.

L'**amiante** n'est devenu une fibre pratiquement utilisable que depuis sa découverte au Canada; Québec en livre les 90 p. 100 de

la consommation totale, au prix moyen de 20 francs les 100 kilogrammes. On sait que cet intéressant minéral fournit des étoffes, tresses et cartons incombustibles.

Le **chanvre**, matière première de la corderie, a à lutter avec les produits similaires en fils d'acier. Le travail se fait maintenant par machines, réglant simultanément la torsion et la tension.

Classe 82.

FILS ET TISSUS DE LAINE.

L'industrie de la laine est stationnaire, en France, depuis 1889; tel est le résultat des investigations que M. Ch. Marteau a résumées, dans son excellent rapport sur la Classe 82. La valeur de la production de l'industrie lainière était en 1889, d'après M. Grandgeorge, de 841 millions de francs; elle serait en 1900 d'environ 833 millions. Sur cette production, la façon, peignage et filature de cardé, filature de peigné, tissage, teinture et apprêts, entre pour 373 millions de francs, dont 50 p. 100, soit 186.500.000 francs, représentent le salaire des ouvriers.

De 17 p. 100, les laines croisées ont monté à 45 p. 100 du total des produits; or, elles emploient des fils plus gros que ceux obtenus avec la laine mérinos; la longueur totale des fils, produits pour la même quantité d'étoffes, a donc beaucoup diminué, ce qui, joint à la réduction progressive de l'exportation, explique le malaise croissant de l'industrie lainière.

Au point de vue industriel, il faut noter le réel progrès des installations mécaniques et un certain nivellement dans la qualité des produits des grandes nations; la France et l'Angleterre ont perdu peu à peu leur incontestable supériorité dans certains genres, non par déchéance ou diminution d'habileté de leurs ouvriers, mais parce que les autres nations les ont prises pour modèles et peu à peu imitées.

En Angleterre, on constate une augmentation de la consommation

par habitant; l'exportation des fils de laine peignée a été croissant, mais, par contre, celle des tissus a diminué; c'est un état inverse de celui que nous pouvons constater en France : la population ouvrière des tissages anglais a passé de 297.000 (1889) à 273.000 (1899).

L'importance de l'industrie lainière en Allemagne a été croissant jusqu'au bill Wilson, qui a fermé à peu près le marché des États-Unis aux exportations européennes. En 1900, les filatures occupent encore 54.000 ouvriers, les tissages 153.000, les teintures 22.000, en tout 229.000. La production totale des tissus de laine représentait en 1897 une valeur de 787.000.000 de francs, dont 187 millions destinés à l'exportation.

Il est curieux de constater que c'est encore l'Europe qui produit le plus de laine brute : environ 429.000 tonnes en 1900. Puis viennent l'Australie et l'Amérique du Sud, avec 231.000 tonnes chacune, et enfin l'Amérique du Nord et l'Asie avec 138.000 et 124.000 tonnes. En Europe, la Russie tient la tête avec 164.000 tonnes, et à sa suite les Îles Britanniques qui produisent 63.000 tonnes. Viennent ensuite la France et l'Espagne avec 46.000 tonnes, et, loin derrière elles, la Turquie, l'Autriche et l'Allemagne, de 30.000 à 22.000 tonnes.

La mise en œuvre de cette masse de matières premières, jadis monopolisée par quelques pays privilégiés, se répartit de plus en plus au prorata de la consommation nationale; les progrès immenses, réalisés à ce point de vue par l'industrie lainière en Russie, ne doivent nous laisser aucune illusion; elle occupe déjà 150.000 ouvriers, et ses produits se chiffrent par 160.000.000 de roubles; aux États-Unis, le bill Wilson paraît surtout avoir eu pour effet de restreindre la consommation des tissus de laine au profit de ceux de coton.

Classe 83.

SOIES ET TISSUS DE SOIE.

Les tableaux, exposés par la Chambre de commerce de Lyon, permettent de suivre dans leur élaboration les 28.000.000 de kilogrammes de soie grège produits par le monde entier, chaque année,

IMPRIMERIE NATIONALE.

et transformés en tissus, dont la valeur approximative dépasse 2 milliards de francs.

Nous avons cherché à condenser ces tableaux, en mettant en relief les principaux producteurs (*moyenne de 1895 à 1899*).

SOIE GRÈGE EN TONNES DE 1.000 KILOGRAMMES.

PAYS.		I. PRODUCTION. DÉTAIL.	I. PRODUCTION. TOTAUX.	II. IMPORTATION.	III. EXPORTATOIN.	I + II − III. CONSOMMATION.
Asie	Chine	10.200	21.200	1.290	8.940	13.550
	Japon	8.000				
	Le reste	3.000				
Levant		//	1.220	70	1.160	130
Europe	Italie	4.400	5.480	16.550	11.800	10.230
	France	680				
	Le reste	400				
Amérique		//	//	3.970	//	3.970
Afrique		//	//	240	//	240
Totaux			27.900	21.900	22.120	28.120

Théoriquement, les importations et les exportations devraient se balancer, et la consommation totale devrait être égale à la production totale. Les erreurs, d'ailleurs minimes, sont dues aux appréciations douanières; l'Asie est le grand producteur de la matière première; puis vient l'Europe, avec l'Italie et la France en tête. L'Asie consomme plus de la moitié de ce qu'elle produit; l'Europe la suit de près, puis vient l'Amérique, dont il n'est pas téméraire de prévoir que la consommation ira croissant. La France, que nous trouverons en tête des productrices d'étoffes ouvrées, est aussi une grande consommatrice; elle produit 680 tonnes de soie grège, en importe 6.400, en exporte 3.200 et par conséquent en use 3.880, près de cinq fois sa production.

La mise en valeur de la précieuse matière première va nous révéler, dans le tableau ci-contre, l'importance de l'industrie à laquelle elle a donné naissance.

PRODUCTION DES ÉTOFFES DE SOIE EN MILLIONS DE FRANCS.

PAYS.		I. PRODUCTION.		II. IMPORTATION.		III. EXPORTATION.		I + II − III. CONSOMMATION.	
		DÉTAIL.	TOTAUX.	DÉTAIL.	TOTAUX.	DÉTAIL.	TOTAUX.	DÉTAIL.	TOTAUX.
ASIE.	Japon	150	350(?)	2,2	45,5	37	84	115,2	311,5
	Le reste	200(?)		43,3		57		196,3	
LEVANT		//	//	//	16,8	//	1	//	15,8
EUROPE.	France	600	1.500	53	615,7	300	690	353	1.425,7
	Allemagne	355		35		150		240	
	Suisse	170		11		130		51	
	Russie	105		4,5		1,5		108	
	Autriche-Hongrie	85		34,7		17		102,7	
	Grande-Bretagne	75		400		54		421	
	Italie	65		18		36		47	
	Le reste	45		59,5		1,5		103	
AMÉRIQUE		//	390	//	156,7	//	//	//	546,7
AFRIQUE, OCÉANIE, etc.		//	//	//	23,8	//	//	//	23,8
TOTAUX		//	2.240	//	858,5	//	775	//	2.323,5

Les importations et exportations devraient également se balancer et la consommation être égale à la production; quoi qu'il en soit, ce tableau montre nettement les grands producteurs et les grands consommateurs d'étoffes de soie; la France, l'Allemagne, les États-Unis, la Suisse, sont en tête des premiers; les États-Unis, la Grande-Bretagne, la France, l'Allemagne, en tête des seconds. En France, nous fabriquons pour 600 millions d'étoffes de soie, nous en importons 53 millions; notre propre consommation se chiffre par 353 millions et nos exportations par 300 millions. L'Angleterre est notre principale cliente; l'Allemagne et la Suisse nous font une concurrence, dont nous devons nous préoccuper incessamment.

La tendance industrielle, en matière de soieries, comme pour tous les autres tissus, est vers le perfectionnement mécanique, qui entraîne la diminution de prix et, par suite, la démocratisation des riches étoffes, jadis réservées aux privilégiés de la fortune. Néanmoins les plus riches tissus, ceux qui font la fortune et la gloire de Lyon, Tours, Nîmes, Bohain, etc., se font encore à la main.

Décrire les taffetas, moires, satins, lampas, damas, crêpes, mousselines, gazes, façonnés, brochés, imprimés sur chaîne, glacés, moirés, etc., serait une œuvre au-dessus de nos forces et en dehors de notre compétence, d'autant plus que le rapporteur de la Classe 83, sans doute écrasé par l'ampleur du sujet, s'est montré d'une sobriété de détails vraiment désespérante.

Nous rappellerons cependant l'inoubliable exposition des soieries japonaises, dont les broderies à la main ont fait l'admiration de tous les visiteurs.

Nous devons aussi une mention spéciale à l'industrie si vivante du ruban, qui bénéficie largement des progrès mécaniques des métiers et commence à utiliser les soies artificielles, dont le brillant permet des effets nouveaux. Le chiffre d'affaires de la fabrication stéphanoise s'est élevé, en 1901, à 94.000.000 de francs, dans lesquels le ruban de velours, à lui seul, entre pour 33.000.000, dont 8.000.000 sont représentatifs des salaires. L'exportation montre combien notre industrie est en somme prospère, à Saint-Étienne : elle monte à plus de la moitié du total, à plus des deux tiers pour les rubans de velours.

Classe 84.

DENTELLES, BRODERIES ET PASSEMENTERIES.

Dans un rapport aussi complet que remarquable par la précision des détails et par la sûreté des appréciations, M. Henri Hénon, rapporteur de la Classe 84, a rendu compte de l'état actuel des industries de la dentelle à la main, de la dentelle mécanique, de la broderie, de la passementerie et des rideaux.

1° La France et la Belgique tiennent encore aujourd'hui le premier rang dans l'industrie de la *dentelle à la main*, la première avec ses dentellières d'Alençon et du Velay, la seconde avec celles des Flandres et avec la Valencienne qui a émigré de notre sol. L'Italie, si brillante au XVIe et au XVIIe siècle avec son incomparable point de Venise, s'est un peu relevée de sa décadence; mais elle se confine dans l'imitation des modèles anciens. Quant à la Grande-Bretagne, elle a exposé ses guipures d'Irlande.

La dentelle à la main a beaucoup à lutter contre les caprices de la mode et aussi contre les produits des machines.

2° Les *tulles et dentelles mécaniques* datent de 1586, époque à laquelle le révérend W. Lee inventa le métier à bas de Nottingham. Passant rapidement sur le métier Warp qui, le premier, donna un tulle à maille carrée, M. Hénon fait dater le premier pas décisif de la fin du siècle dernier et de l'invention par Heathcoat du métier Bobin, qui ne comporte plus ni aiguilles, ni platines, mais des bobines se déroulant sur des chariots; en 1814, apparaît le leavers qui, après l'application du jacquard et à la suite de nombreux perfectionnements, a survécu et se présente à nous avec une longueur, une vitesse et une puissance de production sans cesse croissantes. Un leavers moderne coûte de 16.000 à 30.000 francs; il peut faire de 120 à 140 tours par minute; son mécanisme intérieur actionne 3.500 à 4.500 chariots et autant de bobines. Les fines barres métalliques en acier, qui sont mues par le ou les jacquards, traversent le métier dans toute sa longueur, sur 8 à 9 mètres; elles sont percées de trous et guident les fils de la chaîne ou des rouleaux qui se tordent et se combinent avec ceux des bobines, lancées à chaque motion du métier.

Le travail des fines barres sert à la confection du réseau et aussi d'armures diverses, effets de mats, jours, fonds, etc. Actuellement, grâce aux perfectionnements du mécanisme des jacquards[1], on peut actionner jusqu'à 1.200 fines barres en plusieurs étages.

Il n'est pas inutile de faire remarquer combien est laborieuse la mise en train de ces grands métiers, depuis l'esquisse du « metteur en carte », jusqu'au dévidage et à la mise en place des fils et des chapelets de cartonnage perforé.

C'est après 1830 que l'industrie de Calais s'est développée; entravée à ses débuts par la difficulté de se procurer les matières premières et les machines, dont l'Angleterre prohibait l'exportation, elle prend, dès 1841, une ampleur remarquable; on compte, à cette date, 1.800 métiers leavers jacquardés, occupant 40.000 ouvriers; le tulle à lui seul absorbe environ 850 métiers et 12.000 ouvriers. Depuis lors, cette

[1] Le type le plus employé est le jacquard dit *spring double perfectionné*, à deux pompes, avec cylindres hexagonaux.

prospérité s'est maintenue, malgré maintes traverses, parmi lesquelles il faut citer principalement la concurrence des machines à broder et les préoccupations afférentes aux exigences de la main-d'œuvre.

En 1878, les fabriques de Saint-Gall (Suisse) et de Plauen (Saxe), qui brodaient sur tissus avec des métiers à broder, commencèrent à utiliser le tulle mi-coton et à imiter la dentelle. Or, les frais de dessin et de mise en carte sont ici bien inférieurs à ceux qu'exigent les leavers, les salaires plus faibles; enfin, les métiers à broder coûtent dix fois moins comme prix d'acquisition. Récemment, on est arrivé, par voie chimique, à faire disparaître le fond de tulle sur lequel a été exécutée la broderie. Ces diverses circonstances expliquent le succès croissant des dentelles, genre Plauen et Saint-Gall, et leur introduction dans la production et dans la consommation françaises.

Malgré cette concurrence, nous n'importons que pour 8 millions de francs de dentelles et guipures de coton, et nos exportations analogues en soie montent à 39 millions, en coton à 29 millions. Au total, nos exportations ont passé de 36 à 60 millions, dans la décade 1890-1900, et nos importations seulement de 7 à 8 millions.

3° La production de la *broderie mécanique* se subdivise en trois branches : la broderie *Bonnaz* au crochet, au *métier suisse* avec pantographe, enfin au métier à pantographe et navettes dit *Schiffli;* les deux derniers se ressemblent beaucoup; mais les aiguilles du métier suisse ont deux pointes et traversent l'étoffe à broder de part en part, tandis que, dans le métier Schiffli, l'aiguille n'a qu'une pointe, le fil n'y est pas disposé par aiguillée, mais bien par bobine, comme dans les machines à coudre; il se boucle et est pris par celui d'une navette qui circule derrière l'étoffe; c'est le *métier à fil continu.*

Bien que M. Saurer d'Arlon ait rendu mécanique le métier suisse à pantographe, en lui adjoignant une machine à enfiler les aiguillées, la plupart des métiers suisses sont encore mus à la main.

Le prix d'un de ces divers et ingénieux appareils est intéressant à mettre en parallèle avec le nombre de points qu'il peut piquer, dans une journée de onze heures : le métier suisse ordinaire coûte 2.400 fr. et peut piquer 3.000 points avec le concours de deux enfileuses d'aiguillées; le Saurer coûte 16.000 francs, exige quatre enfileuses; sur

tissu léger, avec le métier double, il donne 16.000 points. Enfin, le Schiffli revient de 4.000 à 8.000 francs et fournit de 16.000 à 18.000 points; c'est, dit M. Hénon, le métier de l'avenir.

Les métiers suisses sont surtout concentrés en Suisse; on en compte environ 17.500 en activité. Les métiers à fil continu y sont aussi fort répandus et au nombre de 2.750. La Saxe en possède 3.000, la France commence à les utiliser et en emploie 250; l'exportation des fabriques de Plauen montait, dès 1895, à plus de 19 millions de francs.

Il est utile de méditer les conclusions du rapporteur de la Classe 84; après avoir constaté l'état encore prospère de notre industrie, qui trouve, dans nos aptitudes artistiques, un appoint et une garantie de succès, M. Hénon témoigne discrètement de ses craintes, au sujet de la lenteur avec laquelle nous nous assimilons les progrès mécaniques, qui ont fait de la Suisse et de la Saxe de redoutables concurrents, ayant, les premiers, utilisé le développement des machines à broder à fil continu. Il fait ressortir que les tarifs protecteurs, tout en nous réservant le marché intérieur, enchérissent les matières premières et restreignent le développement normal de notre exportation; enfin il insiste sur la nécessité de ne pas réglementer le travail dans les usines, de façon incompatible avec l'emploi de machines aussi coûteuses que les leavers, et dont l'amortissement exige une utilisation intensive.

Classe 85.

INDUSTRIES DE LA CONFECTION ET DE LA COUTURE.

Le rapport très intéressant et très étendu de M. Storch sur la Classe 85, industrie de la confection et de la couture, est plutôt du domaine de l'esthétique et de l'économie politique que de celui de l'industrie; nous y relevons seulement les chiffres suivants, qui prouvent que notre suprématie, en matière de goût et d'élégance, est assise sur des bases inébranlables : de 1891 à 1900, nos exportations de vêtements féminins ont passé de 68 à 79 millions de francs; nos principaux acheteurs sont : l'Angleterre, l'Allemagne, l'Amérique du Sud.

Il convient de noter que ces chiffres doivent être sensiblement majorés; car ils ne comprennent pas les achats emportés par les nombreux étrangers, qui nous servent d'hôtes de passage.

Nos exportations en vêtements pour hommes sont aussi en voie d'accroissement et ont passé (1891-1900) de 16 à 25 millions de francs, mais en y comprenant nos colonies et notamment l'Algérie, qui est notre plus fort client.

Classe 86.

INDUSTRIES DIVERSES DU VÊTEMENT.

MM. Julien Hayem et A. Mortier, rapporteurs de la Classe 86, nous ont fourni, sur les industries diverses du vêtement, c'est-à-dire sur les vêtements que recouvre celui de dessus, une moisson de renseignements historiques, économiques et techniques, dont l'intérêt va de pair avec l'importance de ces industries, qui font vivre, en France, près d'un million de salariés des deux sexes.

Depuis les mules en cuir bruni, ornées au petit fer avec appliques dorées et gaufrées, des fouilles d'Antinoë (an 150 de notre ère), jusqu'aux souliers à talons et à boucles des XVIIe et XVIIIe siècles, et jusqu'aux bottines de nos *chausseurs*, nous avons conservé une supériorité de fabrication dont témoignait encore notre exportation en 1889; de 63 millions de francs, elle s'est abaissée à 20 millions, à la suite du développement des machines américaines[1], que nous avons, un peu tardivement, mais résolument adoptées; de 29 francs, la valeur moyenne du kilogramme de chaussures s'est abaissée à 19 francs; maintenant que les sacrifices nécessaires ont été consentis, nous avons l'espoir de reprendre notre essor; car l'emploi, même presque exclusif des machines, peut s'allier avec la confection de modèles élégants et de jolie invention.

Le *chapeau* est, lui aussi, vieux comme le monde; le pot et le heaume, le bonnet de chevalier et le chapel d'or de la châtelaine sont postérieurs au chapeau de feutre qui date, au moins à Langres,

[1] Voir la description succincte de ces machines, Classe 79, page 323.

de l'époque romaine. Louis XIV le portait à bords plats et larges; puis viennent le tricorne, le bonnet phrygien, le haut de forme à ailes retournées, en attendant nos chapeaux de soie, à galette légère et résistante, et nos melons. Actuellement les chapeaux de feutre et de laine rentrent dans les produits de la grande industrie; un ouvrier fabrique à la main 12 formes par jour, la bâtisseuse mécanique en produit 700.

Nous sommes de plus en plus tributaires de l'Angleterre pour nos feutres : de 129.000 importés en 1889, nous avons passé à 509.000 en 1899; par contre, nous fabriquons nous-mêmes nos articles en laine et l'importation en ce genre a diminué de 372.000 à 85.000.

En chapeaux de paille, nous importons du tressé de Chine et des Indes néerlandaises; nous exportons à peu près autant de cousu.

La *bonneterie* de soie, de laine, de coton et de ramie, cette dernière de provenance allemande, a présenté quelques nouveautés intéressantes, en tête desquelles il faut citer les tissus des Pyrénées à aspect molletonné : les fabriques de Bagnères-de-Bigorre occupent 1.500 ouvriers, produisent pour 3 millions de tissus tricotés, avec des laines de premier choix de Buenos-Ayres et d'Autriche, principalement filées à Roubaix et à Tourcoing.

La dernière décade a vu le triomphe du métier Rachel sur le Drekketten, parce qu'il fait des tissus à double face, ayant l'apparence du drap, avec la souplesse en plus; on tente en ce moment de lui appliquer le jacquard; mais il est menacé d'être détrôné à son tour par un dispositif, qui permet de tramer le tissu tricoté.

En somme, la révolution mécanique et économique en bonneterie s'est opérée de 1860 à 1891, réduisant de 90 p. 100 le prix de la façon; la dernière invention mécanique porte sur une tricoteuse circulaire pour maille unie, qui nous est venue d'Amérique vers 1890, et qui permet la confection d'un bas tubulaire à bon marché et surtout d'une chaussette, pouvant lutter avec celle de la tricoteuse rectiligne.

Quant aux applications, elles subissent en ce moment une transformation fatale à certaines grandes usines; c'est au petit moteur à pétrole, essence ou alcool, qu'il faut la rapporter; ils permettent aux ouvriers à domicile de se servir du grand métier Cotton et, comme

les ouvriers ne sont pas assujettis à certaines lois restrictives de la liberté de la main-d'œuvre, plusieurs articles ont baissé depuis deux ans de 30 p. 100.

La production totale de la bonneterie était, en 1889, de 175 millions de francs, avec importation de 8 millions et exportation de 47 millions; en 1899, ces nombres se réduisent à 4 millions et 24 millions. L'importation porte surtout sur les gants blancs tricotés.

Avec la *ganterie,* nous abordons une industrie qui remonte au moins aux croisades : le gant faisait partie du harnoys de guerre, avant de devenir les mitons et mitaines du temps de Louis XIV; on le portait haut, bien avant l'invention des gants à boutons. La dernière décade est caractérisée par la baisse sensible des prix et l'accroissement notable de la consommation; nous en fabriquons pour 93 millions de francs: 35 à Grenoble, 15 à Millau et à Paris, 10 à Chaumont, 8 à Niort, 6 à Saint-Junien. De 52 p. 100 en 1889, l'exportation s'est abaissée à 49 p. 100, et comme les prix se sont avilis de 20 p. 100, on peut calculer que la consommation nationale a augmenté de 15 p. 100. La paire de gants vaut en moyenne 3 francs.

La coupe à la Jouvin est toujours à la mode. L'Angleterre nous envoie environ 24.000 kilogrammes de gants par an; nos exportations en Allemagne ont baissé de 24 à 13.000 kilogrammes; aux États-Unis, de 162 à 85.000 kilogrammes. L'Italie exporte chez nous 15.000 douzaines de gants de Naples, bon marché.

Les *modes,* comprenant les chapeaux et coiffures de dames, le ruban, les plumes et les fleurs, sont encore chez nous en pleine prospérité; on estime notre exportation en ce genre à 1.976.000 kilogrammes, valant 70 millions de francs, en augmentation de plus du double sur 1889; à ce point de vue, notre grande cliente est l'Angleterre. Notons l'extension de la fabrication des fourrures souples en petites plumes, dont l'idée première date de 1877; à Paris seulement, la production en ce genre atteint une valeur de 15 millions.

Le commerce des *cheveux,* bien déchu depuis la décadence de la perruque, motive encore une grande foire annuelle, qui se tient le 25 juin à Limoges.

Le *bouton* primitif était fait d'une lanière nouée; puis on y a employé

le métal ciselé, le corail, la passementerie à l'aiguille ou au crochet, l'étoffe, le papier, la corne ramollie à l'eau bouillante, le verre de Bohême, la nacre de coquillage, enfin la céramique, grâce aux élégantes inventions de M. Bapterosse.

Les boutons en céramique ont été longtemps le monopole de la grande usine de Briare, qui fabrique journellement un million de boutons émaillés, peints, brillantés, imitant la nacre, l'onyx, la mosaïque, les divers métaux; telle presse moule à la fois 500 boutons, dont le passage aux fours, sur les tours d'ornementation, à l'émaillage, se fait par les moyens mécaniques les plus ingénieux.

Le polissage des produits en nacre s'obtient maintenant au tonneau rotatif, par mélange avec de la chaux de Vienne, de la stéarine et de la sciure de bois blanc. On est aussi arrivé à teindre la nacre blanche dans les belles couleurs noires, que présentent les coquillages de Tahiti.

Notre exportation a passé de 7.773.000 francs en 1889, à 8.600.000 francs en 1899.

Nous passerons rapidement sur les *cannes et parapluies, corsets, bretelles et ceintures* pour signaler la diminution de moitié subie par notre *lingerie*, dont les exportations sont actuellement de 22.864.000 francs et montaient à 41 millions en 1884; la recrudescence du protectionnisme est pour beaucoup dans cette décadence; elle est aussi, peut-être, due en partie à la lenteur avec laquelle nous avons introduit chez nous (Saint-Quentin, 1892) la broderie mécanique, florissante en Saxe et en Suisse.

Les *cols et cravates* motiveraient des réflexions analogues; cependant la fabrique de Lyon a fait de grands efforts pour regagner le temps perdu et produire les étoffes souples, brillantes et bon marché, qui sont nécessaires à cette spécialité.

Les conclusions du long et remarquable mémoire de MM. Julien Hayem et A. Mortier sont dignes d'attention : ils constatent, avec un légitime orgueil, la supériorité encore incontestée de la France dans la plupart des produits de luxe, malgré la lutte sans trêve engagée depuis trente ans avec nos voisins. Notre enseignement technique est, pour eux, trop surchargé et nos écoles supérieures de commerce

gagneront à se spécialiser et à cultiver les connaissances pratiques, au détriment des études purement théoriques.

Il est nécessaire d'abaisser les tarifs de transport, d'encourager les voyageurs de commerce, d'inciter nos principales maisons à avoir deux représentants à Hambourg, Berlin, Vienne, Londres, etc., l'un pour la place, l'autre pour la clientèle d'exportation, d'outre-mer.

Jetant un coup d'œil sur l'ensemble du commerce extérieur des principales nations du monde, les rapporteurs de la Classe 86, sans pousser un cri d'alarme exagéré, font ressortir que les nations vraiment prospères sont celles dont la population s'accroît encore rapidement : l'Allemagne, les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Italie; l'état stationnaire équivaut à la décadence.

PAYS.	EN MILLIONS DE FRANCS.						
	IMPORTATIONS.		EXPORTATIONS.		TOTAUX.		DIFFÉRENCE.
	1890.	1900.	1890.	1900.	1890.	1900.	+
Grande-Bretagne	10.568	13.154	8.246	7.311	18.814	20.465	1.651
Allemagne	5.120	7.104	4.108	5.626	9.228	12.830	3.602
États-Unis	4.117	4.145	4.252	7.390	8.369	11.535	3.166
France	4.437	4.408	3.753	4.078	8.190	8.586	396
Autriche-Hongrie	1.509	2.052 (1)	1.905	1.998 (1)	3.414	4.050	636
Belgique	1.672	1.796 (1)	1.437	1.797 (1)	3.109	3.503	484
Italie	1.320	1.699	896	1.338	2.216	3.037	821
Suisse	954	1.065 (1)	703	724 (1)	1.657	1.789	132

(1) 1898 au lieu de 1900.

Il convient d'interpréter les chiffres approximatifs de ce tableau, en cherchant à se rendre compte des prix de l'unité de poids, en importation et en exportation. M. Yves Guyot s'est livré à cette recherche[1], au sujet de nos échanges avec les États-Unis, qui viennent, pour la première fois depuis vingt ans, d'après la statistique douanière américaine, de faire montre en notre faveur d'une exportation de plus de 400 millions de francs. Il est vrai que notre propre statistique indique un total de 35 p. 100 inférieur; mais on sait que la douane ne détermine sérieusement que la valeur des marchandises importées et, pour

[1] Essai sur le commerce international, *Journal des économistes* du 15 juillet 1902.

bien faire, il est préférable de prendre pour les importations américaines chez nous, en 1901, le chiffre de la douane française, 482 millions, et, pour nos exportations aux États-Unis, celui de leur douane, 407 millions. Maintenant, si l'on juxtapose à ces données le poids en tonnes des marchandises auxquelles elles se rapportent, on trouve que nos exportations coûtent en moyenne 13.000 francs par tonne, et que les matières importées des États-Unis chez nous ne valent que 460 francs; c'est une proportion de 1 à 280; en d'autres termes, nos marchandises, à poids égal, valent 280 fois celles que nous recevons : elles se composent principalement de riches étoffes, de pelleteries très ouvrées et d'ouvrages de mode, tandis que l'Amérique nous envoie surtout du coton, du pétrole et du cuivre.

Si nous nous sommes étendus sur cet exemple si saisissant, c'est qu'il porte avec lui son enseignement économique et industriel; notre marine marchande manque et manquera toujours de fret de retour; nous avons intérêt à importer le plus possible, puisque nous importons des matières premières qui nous manquent et nous manqueront toujours; enfin nous n'avons aucun intérêt à élever à nos frontières des barrières prohibitives qui, par représailles, amènent fatalement la diminution de nos exportations, puisque ces exportations représentent des matières artistiques et ouvrées qui ne sont pas de première nécessité.

Ces diverses déductions sont encore corroborées par les chiffres suivants, que nous empruntons également au travail de M. Yves Guyot :

PRINCIPALES IMPORTATIONS ET EXPORTATIONS DE LA FRANCE EN 1901 EN MILLIONS DE FRANCS.

IMPORTATIONS.		p. 100.	EXPORTATIONS.		p. 100.
Angleterre	667	14	Angleterre	1.264	30
États-Unis	482	11	Belgique	597	15
Allemagne	418	9	Allemagne	461	11
Belgique	386	9	États-Unis	240	6
République Argentine	357	6	Suisse	226	5
Russie	219	5	Italie	166	4
Espagne	168	4	Espagne	127	3
Italie	150	3	République Argentine	51	"
Turquie	111	"	Turquie	48	"
Suisse	104	"	Russie	44	"
Autriche-Hongrie	87	"	Brésil	32	"
Brésil	74	"	Autriche-Hongrie	21	"

Nous vendons avec évidence des produits chers et très ouvrés, que les peuples riches peuvent seuls nous acheter; nos quatre premiers clients, l'Angleterre, la Belgique, l'Allemagne (qui sont en même temps nos voisins immédiats) et les États-Unis absorbent, à eux seuls, 62 p. 100 de nos exportations. Nos importations sont plus fractionnées et d'origines diverses : nous avons besoin de matières premières très variées, que notre sol ne contient ou ne produit pas en quantités suffisantes.

QUATORZIÈME GROUPE.

INDUSTRIE CHIMIQUE.

Classe 87.

ARTS CHIMIQUES ET PHARMACIE.

L'industrie chimique est en grand progrès depuis 1889, et dans des sens tellement divergents que la seule difficulté consiste à grouper les progrès accomplis, pour en constituer un ensemble harmonieux. On peut constater, d'abord, que dans ce vaste domaine, les découvertes scientifiques sont très intimement liées au progrès industriel et économique; l'agriculture, les industries alimentaires et textiles, le bien-être domestique sont tributaires de la chimie, sous les formes les plus variées; engrais décuplant la puissance génératrice de la terre; production économique du froid, permettant le transport au loin et la conservation efficace des aliments; utilisation pratique de gaz, tels que l'acétylène, à haut pouvoir calorifique et lumineux; manchons à incandescence obtenus au moyen des terres rares; matières colorantes et parfums artificiels; alcaloïdes synthétiques, précieux en thérapeutique, les arts chimiques touchent à tout et se croient permises toutes les ambitions; dans une boutade spirituelle, un de nos plus illustres savants songeait à remplacer tôt ou tard les aliments par des boulettes nutritives condensées, qui rendraient à peu près inutiles les fonctions de l'estomac et des intestins. C'est à juste titre que M. Haller signale l'influence prépondérante des laboratoires scientifiques sur la prospérité extraordinaire des industries chimiques en Allemagne.

Le trait marquant des plus grands progrès accomplis depuis dix ans consiste dans la suppression partielle des cycles de réactions compliquées et dans l'utilisation directe de divers modes d'énergie électrique : sous l'impulsion féconde des recherches théoriques de M. Moissan, le *four électrique* est en voie de transformer la métallurgie; il

nous fournit désormais en abondance l'aluminium, le chrome, les carbures divers, etc., et a donné naissance par voie indirecte à l'alumino-thermie de M. Goldschmidt.

En même temps les divers modes d'*électrolyse*, par voie sèche ou par voie humide, ont pris un extraordinaire développement; pour l'obtention de la potasse caustique et de ses sels, l'électrolyse se substitue totalement aux anciens procédés; la soude, le chlore, etc., sont déjà ses tributaires; il est certain que le four électrique et l'électrolyse sont appelés à un développement dont nous ne pouvons nous faire encore une idée bien précise.

Les synthèses théoriques ont fait une large application de l'*effluve électrique;* son emploi industriel commence seulement à posséder les données et les appareils nécessaires; cependant il a déjà conduit à la production économique de l'ozone, dont profite l'industrie florissante des parfums artificiels; il est proposé pour diverses applications hygiéniques et, d'une façon générale, constitue une méthode d'oxydation commode et économique.

Les *actions catalytiques* ou de contact, qui avaient déjà donné le formol industriel à M. Trillat, viennent de rendre à la grande industrie chimique un service signalé, en renouvelant les méthodes de production de l'acide sulfurique : la découverte théorique date de 1875, époque à laquelle M. Winckler proposa d'employer la mousse de platine pour provoquer l'union directe de l'anhydride sulfureux et de l'oxygène. L'application pratique est toute récente[1], elle démontre la grande économie du nouveau procédé sur les chambres de plomb, tout au moins pour l'acide concentré; M. Etard[2] a fait ressortir l'importance de la facile production d'anhydride sulfurique solide pour les transports lointains, notamment par navires.

L'action méthodique de la *compression* et de la *détente*, dans des serpentins emboîtés les uns dans les autres, permet la liquéfaction de tous les gaz connus; le dernier progrès en ce genre que l'on puisse qualifier d'industriel, a consisté dans la production abondante de l'air liquéfié qui peut déjà servir à la fabrication économique de l'oxygène,

(1) Haller, *Revue générale des sciences*, 28 février 1901, page 159.

(2) Etard, *Revue générale des sciences*, 15 février 1901, page 134.

l'azote entrant avant lui en ébullition. On sait les applications de plus en plus nombreuses de l'ammoniaque et des anhydrides sulfureux et carbonique liquéfiés. L'air liquide est appelé à rendre de grands services dans les laboratoires d'essai des métaux, et permettra d'étudier les modifications si curieuses de leurs résistances et de leurs conductibilités, aux basses températures.

L'industrie a continué à profiter de la production et de la purification de certains *corps rares*, tels que les terres des sables à monazite d'Amérique, servant à la fabrication des manchons à incandescence; tels encore que le vanadium, extrait des cendres d'un anthracite de la Grande Cordillière et employé dans la métallurgie de l'acier; tels enfin que les corps radiants, étudiés et isolés par M. et Mme Curie.

En *chimie organique*, l'extrême facilité des synthèses prête désormais une grande importance à la détermination et à la séparation des isomères, notamment de ceux que M. Berthelot a rangés dans les isoméries dynamiques, démontrées par le calorimètre. En dehors de l'utilisation directe de l'énergie électrique, les cycles de réactions rentrent toujours dans les cinq classes connues : oxydation, hydrogénation, hydratation, substitution, condensation[1].

C'est grâce à ces moyens si puissants, que les matières colorantes, extraites des goudrons, se sont multipliées par milliers; on possède maintenant la gamme complète des couleurs dérivées de l'anthraquinone (alizarine); l'industrie allemande qui a trouvé un regain de matières premières dans la production des goudrons, due à l'emploi des fours à coke perfectionnés, a développé la fabrication des colorants azoïques dérivant de la découverte de Roussin (1876), et des colorants sulfurés, cachou de Laval, noirs Vidal et Saint-Denis.

Mais le progrès marquant de la dernière décade consiste dans le commencement de production industrielle d'une *indigotine* qui ne diffère en rien de l'indigo naturel.

En même temps, les huiles essentielles et les *parfums* entraient dans la phase de synthèse pratique, tout en partant le plus souvent de produits économiquement extraits de certaines plantes exotiques.

[1] Etard, *loc. cit.*

IMPRIMERIE NATIONALE.

Enfin, la synthèse chimique pure triomphe dans la production d'un grand nombre de corps précieux en thérapeutique : chloroforme, antipyrine, sulfonal, salicylate.

Nous allons entrer dans quelques détails au sujet de ces précieuses conquêtes scientifiques et industrielles, en renvoyant pour le surplus au remarquable rapport de M. Haller, pour la Classe 87, qui constitue un monument durable de l'état actuel des industries chimiques.

Fours électriques. — Les mémorables travaux de M. Moissan ont été effectués avec un four à arc horizontal, jaillissant entre deux électrodes en charbon, dans une cavité creusée dans la chaux vive; il a obtenu ainsi une température d'au moins 3.000 degrés, que peut donner aussi le chalumeau à oxygène et acétylène.

Dans le four W. Siemens (1879), l'électrode verticale est suspendue au-dessus d'un creuset réfractaire à fond servant de deuxième conducteur; le premier, il songea à refroidir l'électrode supérieure par un courant d'eau.

Les fours industriels peuvent[1] se classer en trois principales catégories, suivant qu'ils utilisent l'arc électrique proprement dit, les résistances, la résistance superficielle et l'incandescence.

1° *Fours à arc.* — Leurs électrodes peuvent être toutes deux mobiles, ou encore tout ou partie du creuset peut servir pour une électrode, l'autre étant mobile. En outre on peut en utiliser plusieurs mobiles et recourir ainsi à plusieurs arcs.

Ces fours, directement inspirés par les recherches de M. Moissan, sont sensibles aux variations d'intensité, provoquent parfois le soufflage des poussières, et enfin produisent, par décalage, en cas de courants alternatifs, une chute de tension considérable. Ils exigent en général une tension de 50 à 60 volts[2] et comprennent un grand nombre de fours actuellement utilisés, Société des carbures métalliques, Siemens et Halske, Schuckert, Bertolus, etc.

L'Exposition montrait un énorme bloc de carbure d'environ

[1] Keller, Congrès international d'électricité, 21 août 1900.

[2] La fusion des minerais de fer n'exige que 20 volts à cause de la grande conductibilité des vapeurs.

1.200 kilogrammes, obtenu à l'usine de Bellegarde, dans un four Bertolus à trois électrodes, reliées chacune à une des phases d'un courant triphasé. Le fond du four n'a nullement besoin d'être en liaison avec les alternateurs et le passage du flux électrique se fait intégralement dans le sein de la masse fondue.

2° *Fours à résistances.* — Leur disposition générale rappelle les fours à arc à une électrode mobile; mais cette électrode, généralement verticale, plonge dans le bain fondu et, pour une tension donnée, la chaleur développée est proportionnelle au carré de l'intensité, conformément à la loi de Joule. La fusion est tranquille; on évite le soufflage des poussières et le décalage exagéré des courants alternatifs. En général, il suffit d'une tension de 20 à 25 volts.

Avec les courants continus, il peut se produire certains phénomènes électrolytiques; l'emploi des courants alternatifs laisse à ce genre de fours un caractère exclusivement électrothermique.

Les fours Bullier, Gin et Leleux appartiennent à cette catégorie inaugurée par les appareils Héroult; les plus perfectionnés produisent actuellement 6 kilogr. 200 de carbure de calcium par kilowatt et 24 heures, ce qui correspondrait à un rendement thermique utile d'environ 75 p. 100; en 1897, cette production atteignait à peine 3 kilogrammes.

3° *Les fours à résistance superficielle et incandescence* sont ceux où, pour faire passer le courant, on réunit d'abord les électrodes, par exemple, par des morceaux de charbon juxtaposés; on constitue ainsi une sorte de lit de fusion sur lequel sont placées les matières à traiter qu'on ne fait pas traverser tout entières par le courant.

Ce sont les fours qui permettent les plus forts voltages, 80 à 100 volts, et les plus grandes puissances; on y trouve des fours d'origine ancienne, tels que les appareils Cowles.

Dans ces divers fours, l'intensité des courants, utilisés par éléments, varie de 5.000 à 10.000 ampères; nous avons déjà vu que le voltage oscille entre 20 et 100 volts, la puissance de 250 à 1.000 kilowatts. La tendance actuelle est plutôt aux courants alternatifs qu'aux continus; leurs génératrices souffrent moins des brusques variations de résistance; comme on ne peut songer à utiliser les coupe-circuits sur

des courants de pareille intensité, c'est l'électrode mobile qui en tient lieu, et pour éviter, en cas de mise accidentelle d'un four hors circuit, une réaction trop brusque sur les dynamos ou les machines motrices, on alimente généralement plusieurs fours en parallèle.

On doit prendre de grandes précautions, pour les canalisations de liaison des électrodes avec les génératrices ou les transformateurs; on se sert maintenant de barres plates, posées de champ les unes à côté des autres, pour éviter les effets d'impédance. Les deux faisceaux correspondant aux deux électrodes se suivent côte à côte pour réduire au minimum les effets d'induction. Dans ces conditions, on arrive, avec les courants alternatifs, à un coefficient d'utilisation de 90 p. 100; les 10 p. 100 restants sont à rapporter au décalage mais ne correspondent qu'à une perte apparente de puissance. Il faut éviter l'emploi des plaques de fer, à cause des pertes par hystérésis.

En quelques années, l'utilisation des forces hydrauliques naturelles, destinées à alimenter des fours électriques, a atteint 230.000 chevaux; le carbure de calcium, à lui seul, en absorbe 185.000. Puis vient l'aluminium en utilisant 17.000; le cuivre, 11.000; le carborundum, 2.000.

La France entre dans ce total pour environ 60.000 chevaux; elle possède des fabriques mixtes de carbure de calcium et de phosphore; on commence à produire, en Savoie, du vanadium, du ferro-chrome, du corindon artificiel pour meules. A Rochefort-sur-Mayenne, on fabrique des alliages de ferro-bore, de nickelo-bore, de mangano-silicium.

La fabrication de l'**aluminium** au four électrique est principalement basée sur l'électrolyse d'un bain fondu d'alumine et de cryolite, additionné de sel marin et de fluorure de calcium (Héroult). La cryolite, dont le seul gisement exploité est au Groënland, se régénère constamment; quant à l'alumine, de son degré de purification dépend la pureté des produits définitifs; on l'extrait de la bauxite, alumine hydratée naturelle, qui a son type aux Baux, près d'Arles, et qui se montre toujours, en France, entre les calcaires dits *urgoniens* et le cénomanien, à la place de l'aptien supérieur et de l'albien. Dans les Pyrénées, la bauxite est en amas, à la partie supérieure des dolomies

jurassiques, et dans les couches aptiennes; elle est souvent mêlée de pisolithes ferrugineuses, de nodules de limonite et d'oligiste, de silice.

L'extraction et la purification de l'alumine se font par le procédé Bayer: la bauxite est calcinée, broyée et traitée par une solution de soude caustique; il se forme de l'aluminate de soude que l'on précipite par un courant d'acide carbonique; on favorise la cristallisation de l'hydrate d'alumine, en introduisant quelques cristaux déjà formés de ce dernier corps.

On peut obtenir directement (Cowles), par électrothermie, des bronzes d'aluminium, en traitant au four électrique un mélange d'alumine, de grenaille de cuivre et de charbon.

M. Moissan a fait ressortir les progrès récemment réalisés dans l'obtention de l'aluminium à l'état de pureté presque absolue, qui évite la production de couples électriques, entraînant une détérioration rapide, notamment en présence des liquides salés.

Le *carbure de calcium* (Moissan et Bullier, Wilson) est obtenu par la simple action de la chaleur et peut donc utiliser les courants alternatifs; le prix de revient[1] d'une tonne de produit, dans une usine de 1.000 chevaux de la Compagnie électro-métallurgique des procédés Gin et Leleux, fait ressortir les éléments suivants :

Matières premières..	1.000 kilogrammes de chaux....	15 francs.
	700 kilogrammes de charbon..	28
Électrodes (usure) [à 500 francs la tonne]...........		25
Main-d'œuvre (à 3 fr. 50 la journée)...............		20
Énergie électrique, matériel, amortissement..........		92
Total........................		180

L'usure de l'électrode verticale mobile entre dans ce total pour environ 14 p. 100; on conçoit donc les précautions que l'on cherche à prendre pour diminuer ce coefficient : on la compose d'une âme en charbon très conducteur, entourée d'une enveloppe d'anciennes électrodes concassées et réagglomérées, qui supporte l'effet dissolvant du

[1] Cs. *Génie civil*, XXXVIII, page 357.

bain fondu. On a même cherché à refroidir l'électrode par une circulation d'eau; en tout cas, on la préserve du courant direct de l'air.

Nous avons vu plus haut que l'on commence à fabriquer au four électrique le *chrome* et le *ferro-chrome* (Wilson), les *ferro-bore*, *ferro-titane*, *ferro-silicium* (Stassano). L'impulsion, donnée aux recherches industrielles par les admirables travaux, purement scientifiques, de M. Moissan sur les métaux et leurs carbures, est loin d'avoir porté tous ses fruits et nous ne faisons qu'entrevoir la moisson future.

La métallurgie du *fer*, lui-même, est déjà tributaire d'essais au four électrique[1]; on a obtenu à Rome, avec les minerais du Camonica, 1 kilogramme de métal pour une dépense d'énergie de 2,7 chevaux-heure. On estime donc que 3.000 chevaux-heure suffiront pratiquement par tonne de métal.

Le *carborundum* (carbure de silicium Acheson) se fabrique également au four électrique en grande quantité.

Enfin le *graphite* (Girard, Street-Acheson), dont les usages en électricité se sont multipliés, y prend naissance aux dépens des variétés amorphes de carbone.

Électrolyse. — Plus ancienne en date que le four électrique, l'électrolyse ne s'est réellement développée que dans ces dernières années, à partir du moment où l'utilisation des chutes hydrauliques a conduit de toute part à une production économique de l'énergie électrique. Ici encore nous assistons à un commencement plutôt qu'à une rénovation, et ce commencement bouleverse déjà toutes les méthodes de la grande et de la petite industrie chimique[2].

On sait qu'on appelle électrolyse l'action qui consiste à décomposer un corps, appelé électrolyte, par un courant électrique. Les deux conducteurs, qui amènent ce courant, sont les électrodes; la positive est l'anode; la négative, le catode. Les produits de la décomposition, qui se rendent aux électrodes, sont les ions; leur masse est proportionnelle à la quantité d'électricité qui traverse le circuit; mais de plus, il est nécessaire que la force électro-motrice, mise en œuvre, soit

(1) Four Stassano, in *Génie civil*, t. XXXVI, page 408. Four Keller.

(2) L. Guillet, *Génie civil*, t. XXXVI, pages 52, 67, 85, 101.

aussi proportionnelle à la chaleur développée par la recombinaison des produits de la décomposition.

La grande industrie chimique possède, pour la production des *alcalis caustiques*, deux méthodes inégalement développées, le célèbre procédé Leblanc qui a pour sous-produit principal l'acide chlorhydrique, et le procédé Solvay à l'ammoniaque, dont les sous-produits ne sont guère utilisés.

On peut dire que la fabrication du sulfate de soude, nécessaire aux verreries, justifie seule l'emploi pour l'avenir du procédé Leblanc.

Quant à la production du chlore et des alcalis caustiques, elle sera désormais demandée aux nombreuses méthodes électrolytiques qui, dès à présent, fonctionnent industriellement; la révolution est à peu près complète, en Allemagne, pour les sels de potasse; elle s'accentue chaque jour davantage pour ceux de soude. L'électrolyse donne, comme sous-produit, le chlore à l'état gazeux; on le transforme soit en chlore liquide, soit en chlorure de chaux, et l'un des problèmes économiques, soulevés par les nouveaux procédés, consiste à trouver le placement de l'énorme quantité de chlore ainsi produite. Un autre sous-produit intéressant est l'hydrogène, dont plusieurs électrolyseurs ménagent le dégagement.

Parmi les électrolyseurs à voie humide, on peut distinguer :

1° Les appareils à diaphragmes, souvent tubulaires, dans lesquels rentrent les procédés les plus exploités : de Griesheim (Elektron), Gall et de Montlaur, Outhenin-Chalandre, etc.;

2° Les appareils à anode en mercure, dans lesquels le sodium produit s'amalgame d'abord, puis régénère le mercure en fournissant de l'hydrogène et de la soude caustique, en présence de l'eau. Dans cette catégorie rentre le procédé Castner dont on connaît le rendement (usine d'Oldburry, près Birmingham) : un courant de 4 volts et de 550 ampères y produit, par 24 heures, 540 kilogrammes de soude caustique contenant à peine 1/2 p. 100 d'impuretés et 450 kilogrammes de chlore contenant de 3 à 5 p. 100 d'impuretés.

Les électrolyseurs à voie sèche, dans lesquels on distille le sodium produit ou on en forme un alliage avec du plomb fondu, comprennent le procédé Vautin qui, par fusion de cet alliage sous une couche de

soude caustique, donne de l'oxyde de sodium anhydre; ce dernier chauffé à 300 degrés dans des vases d'aluminium, en présence d'un courant d'air (brevet Castner) fournit le bioxyde de sodium, fort employé dans l'industrie du blanchiment.

Le *chlorate de potassium* est directement obtenu par électrolyse du chlorure suivant deux méthodes également ingénieuses : dans l'une (Gall et de Montlaur), qui s'effectue dans des bacs en lave de Volvic, un diaphragme sépare le catode en fer de l'anode en platine, à laquelle est constamment amenée la potasse formée au catode, au moyen d'une circulation en forme de monte-jus. Le chlorate de potassium, qui cristallise, est pêché et essoré; le rendement atteint 70 p. 100.

L'autre méthode (Oettel) consiste à électrolyser sans diaphragme un mélange de chlorure de potassium et de potasse caustique; il nécessite des électrodes en platine.

Les industries électrolytiques utiliseraient en ce moment, d'après M. Borchers[1], 372.000 chevaux dont plus de 330.000 hydrauliques. La France et les États-Unis seraient de beaucoup en avance sur les autres nations avec 112.000 et 84.000 chevaux. Les principales substances produites seraient[2] :

Soude caustique	82.000 tonnes.
Potasse caustique	17.000
Chlorure de chaux	256.000
Chlorate de chaux	215.000
Chlorate de potasse	7.000

La métallurgie du cuivre, du nickel, du zinc, de l'étain et des métaux précieux est tributaire de l'électrolyse qui permet d'obtenir des produits purs et de traiter des solutions étendues, résistant à tout autre moyen pratique d'extraction. Le raffinage du cuivre notamment est instructif à ce point de vue; en 1900 il a porté sur 486.000 tonnes de métal, dont 269.000 traitées aux États-Unis, qui en ont raffiné 172.000 par les méthodes électrolytiques.

[1] Congrès d'électro-chimie. — [2] Cs., L. Guillet, *loc. cit.*, page 87.

L'effluve électrique, entre les mains de M. Berthelot, s'est classé comme un des plus puissants moyens de synthèse; longtemps il n'a été employé que dans les laboratoires; il commence à se répandre dans l'industrie, qui l'utilise pour fabriquer économiquement l'ozone. L'Exposition présentait trois types distincts d'appareils : le premier en date, celui de M. Verley (1897), consiste en une table en aluminium poli, au-dessus de laquelle est suspendue, à distance réglée, une glace argentée du côté opposé à celui de la table métallique; l'air, aspiré par un trou central, pénètre librement à la périphérie; les surfaces métalliques sont en communication avec les conducteurs d'un courant alternatif de 5.000 à 10.000 volts. La Société anglo-française de Courbevoie utilise ces appareils dans la fabrication de la vanilline artificielle.

Dans l'appareil exposé par MM. Marmier et Abraham, l'effluve jaillit entre deux plaques de verre, accolées à deux disques en fonte évidés dans lesquels circule un courant d'eau de refroidissement, qui tombe en pluie dans un collecteur, pour éviter la perte de courant que produirait un jet continu. La différence de potentiel peut atteindre 50.000 volts; un déflagrateur, constamment soufflé, diminue les pertes. L'ozone concentrée est destinée à la purification des eaux potables, qu'elle rencontre dans des colonnes de gros graviers.

M. Otto présente des appareils à électrodes mobiles et d'autres avec interrupteur d'effluves.

Tôt ou tard, nous devrons, à l'effluve ou à l'étincelle électrique, la fixation directe de l'azote atmosphérique, sous forme d'azotates propres à suppléer aux nitrates du Chili, dont l'exploitation, sans cesse grandissante, épuisera rapidement les gisements naturels, quelle que soit leur richesse. Crookes a, depuis longtemps, appelé l'attention sur cette application, riche en conséquences économiques; dès à présent, après traitement par l'étincelle et passage dans une tour à hydratation, on arrive à fixer sous forme d'acide azotique 2.5 p. 100 de l'air employé; il est intéressant de rapprocher, de ces expériences synthétiques, l'action fertilisante attribuée aux pluies d'orage et aussi la forte odeur nitreuse, que dégage le soufflage des courts circuits, au moyen de paratonnerres à fourches (déflagrateurs soufflés).

L'**aluminothermie**, dont l'invention récente est due à M. Goldschmidt, dérive d'une part de l'étude calorimétrique de la combustion des principaux métaux, et d'autre part de la production économique de l'aluminium au four électrique; elle consiste à utiliser ce métal en grenaille ou en copeaux comme désoxydant, à la façon du charbon dans les hauts fourneaux. La combinaison de l'aluminium avec un atome d'oxygène dégage[1] 131,2 calories; seuls le magnésium, le lithium, le calcium et le strontium surpassent ce nombre élevé de calories. M. Goldschmidt dispose, dans un creuset brasqué de magnésie, un mélange intime de l'oxyde à réduire et d'aluminium; il amorce la réaction au moyen de quelques grammes d'une poudre détonante d'aluminium et de bioxyde de baryum, qu'on allume avec une allumette; elle se poursuit jusqu'à complète fusion du mélange auquel on ajoute successivement de petites portions nouvelles.

Après refroidissement, le culot se montre composé du métal recherché, le chrome par exemple, à l'état de pureté presque absolue, et d'une scorie riche en corindon. La température s'élève, dans la préparation du chrome, à environ 3.000 degrés.

M. Goldschmidt a ainsi préparé du chrome et du manganèse très purs, du ferro-titane, des alliages d'aluminium, des corindons artificiels très durs. Il utilise un mélange d'aluminium et d'oxyde de fer pour obtenir de hautes températures, permettant de souder diverses pièces de fer entre elles.

La grande industrie chimique met, à juste titre, en tête de ses produits, l'**acide sulfurique** à divers degrés de concentration. Jusque dans ces dernières années, les chambres de plomb, perfectionnées par l'adjonction de tours de Glover intermédiaires, qui permettent de diminuer le cube total par kilogramme d'acide sulfureux produit, ont fourni l'acide dilué; sa concentration au delà de 62 degrés nécessite des vases spéciaux en fonte, en verre, en porcelaine, en platine doublé d'or, ou des fours à distillation, dont le *saturex* de

[1] MATIGNON, *Moniteur scientifique*, juin 1900.

M. Kessler en lave de Volvic, surmonté de plateaux à chicanes, est un des types les plus employés.

Ces procédés et divers autres, basés sur le chauffage électrique ou la séparation de cristaux monohydratés par congélation, rétrocèdent devant la production directe de l'acide sulfurique concentré par contact de l'anhydride sulfureux et de l'oxygène sur la mousse de platine, ou encore sur divers oxydes métalliques extrêmement divisés, tels que les oxydes de fer provenant du grillage des pyrites.

C'est en 1875 que Winckler reprit l'étude de l'action catalytique de la mousse de platine, déjà essayée par P. Philips (1831), Dœbereiner (1832) et Kuhlmann (1833). Winckler se servit d'amiante platiné, Messel et Squire, de ponce platinée.

Récemment, dans le but de produire et de revivifier l'acide sulfurique fumant, nécessaire à la production de l'anhydride phtalique, matière première d'une des synthèses industrielles de l'indigo, la Badische Anilin und Soda Fabrik a installé un procédé pratique de production de l'acide concentré[1] par contact avec l'amiante platiné; elle a communiqué ses principaux brevets à M. Haller, dont nous résumerons le lumineux exposé.

Il est indispensable que les gaz provenant du grillage des pyrites, soient débarrassés de leurs poussières et de l'arsenic, du phosphore, du mercure, dont les moindres traces sont particulièrement nocives. On les brasse au moyen de jets d'air ou de gaz déjà purifiés, mêlés de vapeur; puis l'acide sulfureux, suffisamment dilué, passe dans des tuyaux de fonte, de poterie, de plomb, dans lesquels il se refroidit au-dessous de 100 degrés. Après avoir barboté dans des tours à eau acidulée ou chargée de bisulfite de soude, les gaz sont desséchés dans l'acide sulfurique concentré; un essai permet de constater qu'ils sont limpides en colonnes de plusieurs mètres de longueur et dépourvus d'arsenic, de phosphore, de mercure.

On les dirige ensuite dans les appareils contenant l'amiante platiné, qui sont généralement tubulaires et comportent une circulation méthodique. En effet, la réaction à obtenir est exothermique et dégage

[1] A. Haller, *Revue générale des sciences*, 28 février 1901, page 159, et rapport sur la Classe 88.

32,2 calories par atomes d'acide sulfureux et d'oxygène combinés; mais la combinaison exige au préalable une température assez élevée et, d'autre part, si l'on n'évite pas une surélévation jusqu'au rouge, les appareils en fer s'oxydent, la substance de contact s'affaiblit, la réaction inverse par dissociation se produit.

Il faut donc élever la température des gaz à l'entrée dans les appareils de contact, puis refroidir ces derniers au taux convenable et alors la réaction est à ce point quantitative qu'on peut déverser, sans inconvénient, les gaz résiduaires dans l'atmosphère.

Le refroidissement convenable est obtenu soit au moyen des gaz mêmes à traiter, circulant à l'extérieur des appareils tubulaires, avant d'y pénétrer, soit par l'emploi de bains métalliques fondus.

L'amiante platiné est préparé par imbibition d'un mélange de chlorure de platine et de carbonate ou de formiate de soude, puis par calcination, lavage et séchage.

Un autre procédé, sur lequel on possède peu de documents, consiste à se servir, comme matière de contact, des pyrites grillées avant toute oxydation. (Verein chemischer Fabriken à Mannheim.)

La fabrication de l'**acide azotique** est restée tributaire des nitrates de soude du Chili, qui en a exporté, en 1899, 1.380.000 tonnes, contre 1.050.000 en 1890. Les grands consommateurs sont l'Allemagne avec 501.000 tonnes, la France avec 262.000; puis viennent les États-Unis avec 155.000 tonnes, etc.

Une partie importante de ces nitrates sert de matière première à la production des **engrais artificiels**; il est intéressant de constater la grande extension des industries qui les produisent; les phosphates d'Algérie, de la Floride, de la Caroline sont en grand progrès. La consommation des scories de déphosphoration a passé de 550.000 (1889) à 2.000.000 de tonnes (1900). Enfin, la fabrication du sulfate d'ammoniaque au four Smet-Solway était de 500 tonnes en 1889; elle atteint 16.500 tonnes en 1899 [1]. L'industrie de

[1] L. Guillet, *Génie civil,* t. XXXVIII, page 296.

Stassfurt, dont tous les sels de potasse sont tributaires, est, elle aussi, en grand accroissement : l'extraction s'est élevée, en 1899, à 2.794.000 tonnes de matières premières, contre 1.391.000 en 1889; elle a donc doublé. Les grands consommateurs de chlorure de potassium à 80 p. 100 sont l'Allemagne pour 71.000 tonnes et les États-Unis pour 54.000; la France ne vient qu'en troisième ligne avec une consommation annuelle de 15.000 tonnes. Sur les 107.000 tonnes de ce chlorure exportées par l'Allemagne, 67.000 vont aux usages agricoles, parce qu'au fur et à mesure que les frais de transport augmentent on a intérêt à utiliser des produits plus riches.

Par contre, l'Allemagne en consacre fort peu à son agriculture, tandis qu'elle consomme annuellement 500.000 tonnes de superphosphates, principalement importés, et 400.000 tonnes de scories de déphosphoration.

Nous allons revenir avec quelques détails sur les deux principales conquêtes de la chimie organique dans les dix dernières années: parfums artificiels, indigo synthétique.

La synthèse des **parfums artificiels** s'appuie encore partiellement sur les matières premières extraites des végétaux[1] : le *linalol* et le *menthol* sont des alcools qui proviennent des essences de linaloë, de coriandre et de menthe; le linalol se tranforme en un isomère, le *géraniol*, et s'oxyde en une aldéhyde, le *citral*.

Le *thymol* et l'*eugénol* sont des phénols extraits de l'essence d'*Ajowan ptychotis* des Indes et de celle de clous de girofle, provenant de Pemba et de Zanzibar. L'eugénol permet de préparer l'*isoeugénol* et la *vanilline*.

L'*anétol* et le *safrol* sont des éthers de phénol dérivés des essences de fenouil, d'anis et de sassafras. Le safrol donne naissance à un isomère, l'*isosafrol*, qui, par oxydation, produit l'*héliotropine*.

Le *citral* est une aldéhyde que l'on extrait industriellement de l'essence de verveine des Indes; il sert à la préparation de l'*ionone*, cétone à odeur de violette.

[1] E. Charabot, *Revue générale des sciences*, 15 juin 1901, page 524.

Les parfums, composés de ces matières premières, défient une classification méthodique; nous nous contenterons d'énumérer les principaux d'entre eux.

Composés nitrés. — Les muscs artificiels (1889, Baur) sont des benzènes, des xylènes ou des toluènes polysubstitués, di ou trinitrés.

Alcools et éthers. — Le terpinéol, obtenu par traitement approprié de l'essence de térébenthine, passe pour posséder une odeur agréable, intermédiaire entre celles du syringa, du lilas, du muguet et du gardénia.

Phénols et éthers de phénols. — Les éthers éthyliques et méthyliques du β-naphtol ont une odeur très pénétrante de yara ou de bromélia et entrent dans la préparation des eaux de Cologne inférieures.

Aldéhydes. — Trois aldéhydes, entièrement synthétiques, sont l'aldéhyde benzoïque ou essence d'amandes amères, l'aldéhyde phénylacétique, sentant la jacinthe, et l'aldéhyde cinnamique, principe odorant de la cannelle.

La vanilline dérive de l'eugénol par oxydation ménagée (ozone); le kilogramme de vanilline valait 8.800 francs en 1876; il oscille actuellement entre 75 et 110 francs.

Cétones. — On obtient l'ionone en partant du citral et condensant cette aldéhyde avec l'acétone ordinaire, puis isomérisant la pseudo-ionone obtenue avec l'acide sulfurique dilué (α-ionone) ou concentré (β-ionone).

L'ionone (Tiemann) vaut 1.000 francs le kilogramme en solution alcoolique au dixième; elle constitue de délicieux mélanges avec la violette naturelle. Cette nouvelle industrie des parfums artificiels a plutôt contribué à l'essor de l'industrie des parfums naturels qu'à sa décadence; la consommation des fleurs de violette a notamment pris un développement inespéré, à la suite de la découverte de l'ionone.

La **fabrication artificielle de l'indigo** n'a pas encore, elle non plus, détrôné celle de l'indigo naturel, mais elle lutte avec lui à armes égales et peut, dès à présent, être considérée comme une des grandes conquêtes de la chimie industrielle [1]. Voici, en quelques

[1] Haller, *Revue générale des sciences*, 15 avril 1901, page 323, et rapport sur la Classe 87.

mots, d'après M. Haller, les différentes étapes de cette remarquable synthèse.

Dès 1826, on sait que l'indigo fournit de l'aniline par distillation sèche. En 1841, Fritsche montre que, chauffé avec la potasse, il donne l'acide orthoamidobenzoïque. Laurent et Erdmann, à la même époque, le transforment par oxydation en isatine.

En 1870, M. Baeyer soumet l'isatine à une réduction ménagée et obtient un produit contenant deux atomes d'hydrogène en plus, qu'il appelle dioxindol; une double opération réductrice en présence de poudre d'étain, puis de poudre de zinc, amène à l'oxindol et enfin à un corps dépourvu d'oxygène, l'*indol*, substance mère de l'indigo.

C'est d'ailleurs une méthode de réduction, analogue à celle qui permet de transformer le nitrobenzène en aniline, et qui a conduit MM. Graebe et Libermann à la synthèse de l'alizarine.

En 1879, M. Baeyer obtient la synthèse de l'isatine en partant de l'acide ortho-nitrophénylacétique; puis traitant l'isatine par le trichlorure de phosphore, il réalise un chlorure d'isatine qui, réduit par le zinc, fournit l'indigo.

La théorie de la formation de l'indigo étant ainsi suffisamment élucidée, M. Baeyer propose une préparation industrielle de ce corps basée sur l'emploi de l'acide cinnamique, que Perkin a su préparer en partant de l'aldéhyde benzoïque.

Puis, en 1882, en collaboration avec M. Drewsen, il institue une nouvelle méthode, partant de l'aldéhyde ortho-nitrobenzoïque; condensée, en présence de la soude caustique avec l'acétone, elle se transforme en ortho-nitrophényllactylcétone qui, par l'action d'un alcali, se dédouble en indigo et en acide acétique. La cétone intermédiaire devient soluble, par combinaison avec le bisulfite de soude, et constitue le sel de Kalle ou d'indigo, fort utilisé pour les impressions sur étoffes; leur simple passage dans la soude caustique développe la matière colorante.

La méthode Baeyer et Drewsen serait tout à fait pratique, n'était la difficulté de préparer économiquement l'aldéhyde orthonitro-benzoïque, et d'éviter la production du produit méta-nitré. Dans ce but, la Société chimique des usines du Rhône préconise l'emploi du toluène qui, con-

venablement nitré, donne 60 à 66 p. 100 d'ortho-nitrotoluène que l'on traite ensuite par le bioxyde de manganèse et l'acide sulfurique. Or, M. Haller fait remarquer que la matière première, le toluène, peut être extraite en suffisante abondance des goudrons de houille dont la production annuelle, en Europe, a passé, depuis 1883, de 675.000 tonnes à plus du double. Les goudrons contiennent 2 à 3 p. 100 de benzols bruts, chargés de 6.000 tonnes environ de toluène. Les benzols du gaz d'éclairage en contiennent 23 p. 100; ceux des fours à coke 15 p. 100. L'emploi des fours à coke perfectionnés continue d'ailleurs à se répandre rapidement, et l'on compte actuellement 1.800 fours Semet-Solway et environ 5.000 fours Otto-Hoffmann. Le toluène est donc une matière première suffisamment abondante, même à raison de 4 kilogrammes par kilogramme d'indigotine.

Un autre procédé industriel, employé par la Société badoise, qui a dépensé 22.500.000 francs pour l'amener à bien, est basé sur les découvertes de M. Heumann, datant de 1890; ce savant a montré que le phenylglycocolle et, mieux, l'acide phenylglycine-orthocarbonique, traités par la potasse, produisent de l'indigo. Voici la suite des opérations nécessaires:

1° On transforme la *naphtaline* en *acide phtalique* par l'acide sulfurique fumant. La naphtaline, dont la production annuelle est d'environ 40.000 à 50.000 tonnes, coûte en moyenne 112 francs la tonne. La réaction se modère d'elle-même en présence d'un peu de bisulfate de mercure, et donne de l'anhydride sulfureux que l'on régénère par le procédé Winckler.

2° L'anhydride phtalique, traité par l'ammoniaque à sec, fournit la *phtalimide* que l'on transforme en *acide anthranilique* par l'action d'une solution d'hypobromite ou d'hypochlorite de chaux.

3° On traite de l'acide acétique par le chlore liquide qui provient du traitement des chlorures alcalins (procédé dit *Elektron*, électrolyseur à diaphragme de Griesheim); on obtient ainsi l'acide acétique monochloré, que l'on fait réagir sur l'acide anthranilique précédemment produit; le résultat est l'obtention de l'*acide phénylglycine-orthocarbonique*.

4° La fusion en grand de ce dernier acide avec de la potasse donne l'*acide indoxylique* qui, par oxydation à l'air, produit enfin l'*indigo*.

L'acide indoxylique isolé est livré au commerce sous le nom d'*indophore* et joue, dans les impressions sur étoffe, le rôle du sel de Kalle.

L'indigo peut être purifié par un traitement à l'acide sulfurique; l'action de l'eau précipite l'indigo à l'état très divisé.

M. Haller indique que la récupération de l'acide sulfureux se fait, annuellement, sur 30.000 à 40.000 tonnes de ce produit et que la production de l'acide acétique monochloré s'exerce sur 2.000 tonnes d'acide acétique, provenant de la distillation de 100.000 mètres cubes de bois. De pareils nombres donnent une idée de la puissance de l'industrie moderne et du retentissement pratique de découvertes théoriques heureuses qui, d'ailleurs, ont exigé, dans l'espèce, sept années d'efforts continus.

Nous extrayons, du rapport si complet et si instructif de M. Haller, quelques données statistiques, qui feront ressortir l'importance des industries chimiques et la place honorable, que la *France* y occupe.

Cinquante usines produisent, sur notre territoire, 869.000 tonnes d'acide sulfurique au moyen de chambres de plomb; on sait le rôle important que jouent dans cette production les pyrites lyonnaises (Sainbel); importations et exportations se balancent à peu près (de 3.000 à 5.000 tonnes par an). Comme annexe, la fabrication des superphosphates est en pleine prospérité; elle occupe 81 usines et a produit, en 1900, 881.000 tonnes d'engrais; nos exportations commencent à surpasser nos importations; nous sommes en tête de cette fabrication, à côté de l'Angleterre et de l'Allemagne.

L'acide azotique (7.000 tonnes) est tout entier extrait du nitre du Chili; nous avons importé, en 1900, 285.000 tonnes de ce minéral, à 19 francs la tonne; les chiffres correspondants, pour 1891, étaient 179.000 tonnes et 21 francs.

Le chlore, les chlorures et l'acide chlorhydrique occupent 23 usines qui fabriquent 53.000 tonnes d'acide chlorhydrique et 30.000 tonnes de chlorure de chaux (dont 6.000 d'origine électrolytique); ce dernier produit donne lieu à une exportation croissante qui atteint actuellement 14.000 tonnes par an.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Nous fabriquons 245.000 tonnes de carbonate de soude, surtout par le procédé Solvay à l'ammoniaque; notre exportation annuelle moyenne est de 33.000 tonnes; l'électrolyse commence à s'introduire dans nos usines et, en 1900, elle a produit 29.000 tonnes.

Les produits de l'industrie chimique en *Allemagne* valent, en chiffres ronds, 1.200 millions de francs, dont la moitié est exportée. La chimie organique, grâce au bas prix de l'alcool industriel, entre dans ce total pour 200 millions. Cette grande prospérité a résisté à la récente crise industrielle : tandis que l'ensemble des exportations fléchissait de 240 millions, les industries chimiques enregistraient encore 12 millions d'augmentation.

Nous avons vu le grand profit que l'*industrie allemande* a su tirer des gisements de Stassfurt; mais en outre nous la voyons exporter 41.000 tonnes de carbonate de soude sec (1900), 26.000 tonnes d'acide sulfurique fumant, et une valeur de 89 millions de francs en couleurs d'aniline (1898); la *Belgique* a su également asseoir une industrie chimique florissante sur le traitement des sulfures de zinc; son exportation (1898) se chiffre par 60.000 tonnes de produits, d'une valeur de 36 millions.

L'industrie de l'indigo puise un intérêt spécial dans la révolution industrielle qui se prépare : on sait que l'indigo naturel provient des Indes anglaises et néerlandaises et du Guatémala; ses produits se chiffrent, en 1899, par 6.000 tonnes, valant environ 52 millions de francs, sur lesquels la France prélève annuellement pour 6 à 7 millions. Ils sont en baisse de 2.000 tonnes sur les chiffres correspondants de 1889. Sans doute, cette diminution est à attribuer à des causes variées; néanmoins la concurrence de l'indigo artificiel est une cause de graves préoccupations, pour les pays producteurs d'indigo naturel.

Classe 88.

FABRICATION DU PAPIER.

Dans un rapport, aussi remarquable par l'ordre et la clarté de sa rédaction que par l'importance des documents analysés, M. A. Blanchet a rendu compte des progrès que l'Exposition a pu enregistrer,

dans la Classe 88, grâce au nombre et à l'importance des machines et des matériaux exposés.

Les chiffons et drilles restent la matière première par excellence du papier; mais l'alfa, la paille, les fibres de bois préparées mécaniquement ou chimiquement, en un mot la cellulose sous ses diverses formes, entrent dans sa composition, lui appportant des qualités fort différentes suivant la nature physique des fibres qui sont utilisées.

Chiffons et drilles. — La France en exporte par an de 30 à 40 millions de kilogrammes, d'une valeur moyenne de 0 fr. 38 à 0 fr. 42, tandis que son importation a presque doublé et atteint actuellement 18 millions de kilogrammes à 0 fr. 24. Aucun pays ne produit en pareille abondance le chiffon de toile blanche et de qualité supérieure, et, jusqu'au XVIII[e] siècle, cette circonstance, jointe à une législation prohibant l'exportation, aida la papeterie française à conserver une suprématie longtemps incontestée.

L'*alfa*, qui vaut de 4 fr. 50 à 7 francs les 100 kilogrammes, donne un papier d'impression sinon très résistant, du moins fort plastique. La Grande-Bretagne en importe environ 220.000 tonnes par an, sous forme de pâtes préparées en Algérie et en Tunisie, valant de 35 à 45 francs les 100 kilogrammes, et contenant 45 p. 100 de cellulose.

MM. Dumerque et C[ie], de Tunis, lui font subir, par l'électrolyse, un traitement qui donnerait, par tonne d'alfa, 70 à 80 litres d'alcool, aux dépens d'une substance gommeuse accompagnant la cellulose; le sparte rendrait après cette opération 60 à 66 p. 100 de cellulose, dont le blanchiment serait beaucoup plus facile que celui de la plante brute. Si cette nouvelle fabrication reçoit la sanction de la pratique, elle abaissera sensiblement le prix de la pâte d'alfa.

Les *pâtes de bois* constituent, à côté des drilles et chiffons, la matière première par excellence de la papeterie; le développement insuffisant de notre sol forestier et surtout la nécessité de ne pas déboiser les flancs de nos montagnes, nous rendent, à ce point de vue, tributaires de l'étranger; nous en importons actuellement 132.000 tonnes, d'une valeur totale de 33 millions de francs, dont

environ un tiers en pâte chimique à 0 fr. 36 et deux tiers en pâte mécanique à 0 fr. 20.

Les principaux pays producteurs sont actuellement la Suède, la Norvège, le Canada et l'Allemagne. La fabrication de la pâte chimique par traitement au bisulfite de soude est en voie d'augment, en Norvège; le Canada, riche en forces hydrauliques et en forêts résineuses, développera certainement, dans de grandes proportions, la fabrication de la pâte mécanique. Certaines sociétés allemandes, notamment celle de Waldhof, près Mannheim, jouissent d'une réputation méritée par le soin méticuleux qu'elles apportent à la préparation des diverses variétés de cellulose; la Société de Waldhof a récemment fondé de nouvelles usines en Russie.

Parmi les diverses autres matières premières utilisées en papeterie, on peut citer la ramie[1], la tourbe dont on a récemment extrait la cellulose pour en faire du carton, la térébenthine qui sert au collage du papier, enfin la viscose qui est une cellulose sodifère sulfo-carbonée, qu'on emploie dans la fabrication du papier d'emballage.

La Société générale de térébenthine (Gironde) livre ses produits sous forme de savon résineux ou de résine. Le savon se décompose, dans la pile, en résine et en soude; en présence d'un alun, l'alumine s'empare de la résine pour la fixer sur la fibre, tandis que l'acide se porte sur la soude. Il est d'ailleurs oiseux de rechercher s'il se forme un résinate d'alumine ou si l'alumine produit simplement une action de présence.

Le **matériel** était brillamment représenté à l'Exposition par le groupement synthétique d'une série de machines de notre grande usine d'Essonnes (Darblay père et fils), dont l'outillage et la puissance sont comparables à ceux des plus grandes usines des États-Unis.

La machine à papier était précédée d'une pile raffineuse, alimentée elle-même par les presse-pâte, les raffineurs, les épurateurs et les amortisseurs, nécessaires au travail préalable de la pâte.

Établie avec le souci de faciliter la conduite et le service des ou-

[1] La Banque de France se sert exclusivement de ramie, substance difficile à ouvrer, mais donnant un produit résistant et pur.

vriers, cette machine comporte trois presses, après lesquelles le papier a perdu 60 à 68 p. 100 de son eau. Puis la feuille circule sur un rouleau de fonte, recouvert de laiton, legs des très anciennes machines françaises, qui lui donne la position convenable pour traverser la sécherie. Vingt-quatre sécheurs de 1 m. 20 de diamètre assurent la perfection de ce travail, en même temps que se développe la tension convenable.

Aujourd'hui la vitesse atteint 120 mètres; elle était à peine de 100 mètres, il y a sept ans, dans les machines américaines les plus hardies. Les transmissions, très réduites, utilisent les coussinets à bille du système Lhomme et le graissage sous pression des tourillons, dit *le Protée*, dû à M. A. Brousset.

M. Fullner de Warmbrünn exposait aussi une solide machine, susceptible de fabriquer 20 tonnes de papier en vingt-quatre heures; la Société Escher-Wyss avait innové en matière de papier glacé sur les deux faces, et de carton.

Les calandres, les machines à rogner et à couper étaient aussi brillamment représentées; nous nous contenterons de citer les appareils universellement appréciés de MM. Dehaitre, L'Huillier et Cie, Krausse, de Leipzig; Bruderhaus, de Reutlingen, dont M. Blanchet fait ressortir les qualités mécaniques, en insistant sur la diffficulté d'obtenir de bons rouleaux en papier, en coton, en cuir de bois fortement comprimés et donnant satisfaction dans tous les cas.

Les essais auxquels on soumet le papier, pour en apprécier la qualité, sont principalement basés sur sa résistance à la traction ou à la perforation. Ils ont le tort de ne pas tenir compte du sens dans lequel le papier a été fabriqué; en réalité, la résistance à la traction est représentée par une ellipse, dont le plus petit axe, transversal à la fabrication, peut être dans le rapport de 1 : 1,7 avec le grand axe. Le froissomètre de M. Favier, dans lequel le papier plié est engagé entre un disque métallique et une lame de caoutchouc et se déchire sous l'influence combinée de la rotation du disque et d'une pression déterminée exercée par le caoutchouc, donne des résultats assez concluants, et élimine les papiers de qualité médiocre.

M. Persoz soumet un cercle de papier pincé dans des mâchoires circulaires à la pression verticale d'une sphère métallique; d'après ses expériences, il semble que les charges maxima de perforation correspondent au papier dans lequel l'ellipse de résistance se rapproche le plus d'un cercle et non à celui qui présente dans un sens un maximum de résistance, compensé et au delà par la défectuosité de la solidité dans le sens transversal.

En résumé, l'industrie du papier qui avait doublé sa production, durant la première moitié du siècle, l'a décuplée, dans le cours des cinquante dernières années. La France possède actuellement 395 manufactures, utilisant 588 machines, qui produisent annuellement 450.000 tonnes de papier. Nos importations se réduisent à 9.000 tonnes; nos exportations croissent en quantité (31.000 tonnes en 1891, 36.000 en 1899), mais les prix sont très inférieurs à ceux de 1891.

L'Allemagne occupe actuellement le premier rang en Europe; elle produit 840.000 tonnes de papier et de carton, et en exporte 100.000.

La Russie a doublé sa production depuis 1890; elle atteint aujourd'hui un rendement de 200.000 tonnes.

Les États-Unis sont de beaucoup les plus puissants producteurs de papier du monde entier; non seulement ils suffisent à leur énorme consommation, mais ils exportent, sur une large échelle, au Japon, en Australie, et même en Angleterre.

La Chine et le Japon méritent une mention spéciale, à cause de la qualité de certains de leurs produits. Au Japon, notamment, il existe encore 65.000 petites fabriques, travaillant d'après l'ancien mode national et dont les produits valent 47 millions de francs; ce sont des tissus soyeux, fins et légers, ou des papiers épais, souples et forts aux reflets d'argent, à base de chiffons, de pailles de riz, de rotins, d'*Aralia papyrifera,* etc. C'est en Chine, vers l'an 105 de l'ère chrétienne, que Tsaï Loun inventa l'art de fabriquer le papier.

Classe 89.

CUIRS ET PEAUX.

L'industrie des cuirs et peaux figure au troisième rang dans le mouvement commercial de l'Europe; si nous nous bornons à l'Allemagne, à l'Angleterre et à la France, nous constaterons qu'elle fait vivre une population de plus d'un million d'ouvriers et représente une production annuelle de 1.350 millions de francs.

C'est avec une juste fierté que M. Placide Peltereau, rapporteur de la Classe 89, rapproche ces chiffres imposants et fait ressortir l'importance sociale et économique des nombreuses industries dont il a si consciencieusement étudié les récents progrès : «le cuir est partout... le cuir est dans tout!» Telle est sa formule qui nous paraît justifiée dès les temps préhistoriques, alors que l'homme se vêtissait presque exclusivement de peaux de bêtes.

En 1899, la **France** comptait 335.000 ouvriers occupés aux industries qui utilisent les cuirs et peaux et qui fabriquent les matières premières, nécessaires à ces industries: l'importation en peaux, préparées ou non, et en matières tannantes montait à 223 millions de francs; l'exportation, à 383 millions; il est intéressant de constater que les importations anglaises et allemandes (514 et 351 millions) sont plus fortes et leurs exportations (314 et 337 millions) sensiblement plus faibles que les nôtres.

En fait de matières premières, notre sol produit annuellement 300.000 tonnes d'écorces de chêne, 360.000 tonnes de bois de châtaignier. Nous possédons environ 13 millions de bœufs, 21 millions de moutons, 6 millions de porcs, un million et demi de chèvres, 3 millions de chevaux, un demi-million de mulets et d'ânes; et nous sacrifions annuellement, pour notre consommation, un peu moins de la moitié des bœufs et des moutons, un peu plus des deux tiers des porcs et des chèvres.

Le complément d'approvisionnement en peaux brutes a exigé, en 1899, l'importation de 41.739 tonnes de grandes peaux, et de

17.766 tonnes de petites peaux; il nous est venu 20.000 tonnes de grandes peaux de l'Amérique du Sud, 11.000 des pays d'Europe, 4.000 des Indes anglaises, 3.000 de Chine, 2.000 de nos colonies. Les petites peaux proviennent surtout de Turquie, d'Algérie et d'Allemagne.

L'industrie des extraits tanniques est en pleine prospérité; elle occupe 25 usines qui traitent annuellement plus de 300.000 tonnes de bois de châtaignier, et environ 35.000 tonnes de québracho colorado de l'Uruguay (*Aspidospermum quebracho*), donnant respectivement 70.000 et 13.000 tonnes d'extraits d'une valeur de 17 millions et de 5 millions de francs. L'exportation a doublé depuis 1890; elle atteint une valeur de 6 millions de francs. Les seuls pays producteurs d'extraits sont, avec la France, les États-Unis, la Hongrie, puis la Russie et l'Italie.

Ces chiffres prouvent l'état prospère de nos industries du cuir, et la même conclusion s'applique à presque tous les grands pays du monde entier; les progrès de la civilisation entraînent l'augmentation incessante de la consommation des produits de première nécessité.

L'Italie importe 24 millions de kilogrammes, exporte 16 millions; elle est en pleine progression, pour les exportations, qui ont régulièrement doublé depuis 1890.

PAYS.	1899 (en millions de francs.)			ACCROISSEMENT EN DIX ANS (en millions de francs).		
	IMPORTATIONS.	EXPORTATIONS.	TOTAUX.	IMPORTATIONS.	EXPORTATIONS.	TOTAUX.
Angleterre	513	312	826	98	54	152
Allemagne	351	357	688	80	42	122
Autriche-Hongrie	91	132	223	"	"	"
États-Unis	266	139	435	112	44	156
Russie	36	26	62	13	1	14
Belgique	87	85	172	21	26	47
France	222	382	604	25	14	39

L'énumération des progrès techniques, réalisés durant les dix dernières années, se rapporte au traitement chimique des peaux brutes, puis à leur travail aux machines-outils.

Le **tannage** des cuirs consiste à former, par endosmose, avec la gélatine, un composé insoluble, imputrescible, tout en empêchant l'accolement des fibres qui supprimerait toute souplesse; la très lente action du tanin sur la gélatine peut être aidée par l'agitation (tonneaux rotatifs), la chaleur, les réactifs chimiques (extraits tanniques), l'électricité. Parmi les cuirs tannés, on distingue ceux en *croûte*, simplement séchés au sortir des fosses, cuves ou tonneaux; ceux qui sont *corroyés* avec des matières grasses, dans le but de les rendre souples et imperméables; ceux qui sont en outre *vernis*, après application d'apprêts à l'huile de lin cuite, rendue siccative avec un sel de plomb et du noir de fumée; enfin les cuirs tannés comprennent aussi les *maroquinés*, teints en diverses couleurs.

Les **traitements chimiques**, remplaçant le tannage, donnent les *cuirs mégissés* (petites peaux), au moyen d'un mélange de sel, d'alun, de jaune d'œuf et de farine; ils peuvent être *chamoisés* par traitement à l'huile de poisson qui les rend très souples, ou *hongroyés*, suivant un procédé de mégissage au chlorure d'aluminium, principalement employé en Hongrie.

Un des progrès les plus marquants de la dernière décade consiste dans le développement extraordinaire des **cuirs chromés**; le traitement des cuirs par les sels métalliques a été tenté, dès 1853, par Cavalin; mais l'emploi des sels de chrome date des brevets de Hainzerling, de Schultz, de Martin-Denis. C'est aux efforts persévérants des chimistes américains que nous devons la formule actuelle, dont nous résumons sommairement les opérations : traitement au sel et chaulage, puis passage dans des bains de bichromate de potassium de plus en plus concentrés, additionnés de sel, et enfin dans une solution de bichlorure de baryum qui forme un chromate de baryum insoluble; rinçage; séchage. L'opération dure trois ou quatre semaines, procure une économie de 25 p. 100 sur le tannage, et donne des produits remarquables par leur bel aspect, leur imperméabilité, leur élasticité et leur résistance à la traction.

C'est en 1893 que M. Gustave Petitpont, délégué à l'Exposition

de Chicago, constata l'avenir du nouveau procédé et signala à l'industrie française la nécessité de renouveler, au moins partiellement, ses anciens procédés. Cet appel a été entendu et, si pour les petites peaux les États-Unis sont encore sans rivaux, la France commence à lutter et l'Allemagne possède maintenant, à Offenbach, une fabrique qui livre par jour 700 douzaines de peaux de chèvre chromées; à Tilsitt, on obtient ainsi de beaux cuirs de mouton, susceptibles de remplacer à bon marché la chèvre, pour la cordonnerie. Pour les grandes peaux, nous en partageons la spécialité avec une fabrique de Liège; les gros cuirs chromés s'appliquent avantageusement à divers usages industriels, fouets de chasse-navettes, manchons de filature, tuyaux imperméables, etc.

Un autre progrès, très important, d'après M. Peltereau, consiste dans l'**emploi mixte**, et désormais très général, **des ligneux et des extraits.** Il permet d'accélérer le travail du tannage et de le terminer en quelques mois, sans compromettre la bonne qualité des produits, tandis que les procédés ultra-rapides, au moyen de tonneaux rotatifs, donnent généralement des résultats médiocres.

La **ganterie** utilise maintenant des peaux mégissées, de très grande taille, de jeunes moutons; grâce à ce progrès, on réussit à obtenir des produits très souples à bon marché; on arrive aussi à teindre immédiatement et dans de bonnes conditions les peaux d'agneau mégissées qui, jadis, devaient être d'abord conservées pendant plusieurs mois.

Parmi les autres produits dont l'Exposition de 1900 faisait montre, la France avait conservé une supériorité bien marquée avec ses peaux de chevreau mégissées et glacées, ses cuirs maroquinés, ses courroies corroyées. L'Angleterre présentait de beaux produits pour la sellerie et la bourrellerie, l'Autriche d'incomparables cuirs corroyés de cheval.

Quant aux **machines**, bien que l'Angleterre, l'Allemagne et la France en fabriquent d'excellentes, les États-Unis conservent leur supériorité pour les scies dites *américaines* (machines à fendre), et pour les machines à palissonner et à écharner les petites peaux.

L'enseignement technique a conquis partout la place qu'il mérite par les services déjà rendus et par ceux qu'il est appelé à rendre, en renouvelant et vulgarisant les nouvelles méthodes; l'Allemagne possède, depuis 1889, à Freiberg, une école de tannerie, fondée par la Fédération allemande du cuir; l'Angleterre s'appuie sur le Yorkshire-College à Leeds; et sur l'Herold's-Institute à Bermondsey; en France, le Syndicat général de l'industrie des cuirs et peaux a fondé, en 1899, l'École française de la tannerie, rattachée à l'École de chimie industrielle de l'Université de Lyon.

Classe 91.

MANUFACTURES DE L'ÉTAT, TABACS, ALLUMETTES CHIMIQUES.

L'État s'est réservé, en France, le monopole de la fabrication du tabac et des allumettes chimiques; le savant rapport de M. L. Bardot démontre avec évidence que, tout au moins pour ces deux spécialités, la tutelle administrative a su éviter certains écueils que l'industrie privée ne contourne pas toujours aisément; l'adoption des machines à cigarettes les plus perfectionnées, la récente découverte d'une allumette chimique, évitant les inconvénients du phosphore blanc et cependant susceptible de se plier aux exigences des machines à fabrication continue, tels sont les deux progrès notables, dont nos ingénieurs des manufactures de l'État ont doté les industries qu'ils représentent.

I. — Introduit en Europe au commencement du XVIIe siècle, le tabac devint une source de revenus pour le fisc, dès Richelieu; le produit de sa vente s'est élevé en France à 413 millions de francs, pour l'année 1899; c'est donc à juste titre que M. Bardot considère son usage, non plus comme une mode, mais comme un véritable besoin.

Le traitement industriel des tabacs exige la connaissance approfondie de trois sciences distinctes, l'agriculture, la chimie, la mécanique, qui sont enseignées à l'École d'application, dont notre illustre

compatriote Schlœsing a été longtemps le directeur; de mémorables découvertes y ont été accomplies et c'est à cette école qu'en 1891 la fixation directe de l'azote de l'air sur les plantes a été définitivement et rigoureusement démontrée. Le dosage de la nicotine, à la fois précis et facile, se fait aujourd'hui par digestion dans l'eau salée et extraction au moyen de la soude et de l'éther; il est intéressant de constater que la teneur des tabacs en nicotine varie entre des limites extraordinairement écartées : les produits de l'Ukraine n'en contiennent que quelques millièmes (0.3 p. 100); ceux du Souffi, en Tunisie, en présentent jusqu'à 16 p. 100.

La combustibilité du tabac varie en proportion avec les engrais potassiques, qu'il trouve dans le sol, et la teneur en carbonate de potassium de ses cendres sert de critérium à ce point de vue.

Le mécanisme règne en maître dans les manufactures de l'État; on y trouve des machines à faire les paquets, auxquelles on confie le papier en rouleau et le tabac pesé, et qui les rendent en paquets réguliers, comprimés, ornés de leur vignette et prêts à être fermés. Avec la machine Belot, une mécanicienne assure la terminaison du travail de deux peseuses. Les machines à cigarettes sont désormais entièrement automatiques : le type Découflé, modifié par MM. Grouvelle et Belot, produit journellement, avec une ouvrière, jusqu'à 28.000 cigarettes; un peigne carde et étire le tabac, pendant qu'une lame mince en tôle, formant ressort, suit ses mouvements et assure un tassement régulier.

En 1899, la France a produit 39.000 tonnes de tabacs manufacturés, valant 411 millions de francs; les proportions relatives des divers produits sont les suivantes :

		POIDS. — p. 100.	VALEUR. — p. 100.
Tabac....	à fumer	72	58
	en poudre	13	14
Cigares		8	14
Cigarettes		4	11
Carottes		3	3

L'Algérie produit 4.000 tonnes de feuilles; 2 millions de kilogrammes de cigarettes. La Hongrie est aussi une grande productrice

de tabac; en 1898, la récolte a été de 48.000 tonnes; le revenu net de la régie de 63 millions de francs. En Italie, le monopole rapporte net environ 150 millions de francs; la culture indigène se chiffre par 5.310 tonnes. La régie ottomane puise 9.000 tonnes de produits bruts en Macédoine, 6.000 à Samsoun, 2.000 à Smyrne.

L'Allemagne cultive en tabac 17.000 hectares de son territoire, produit 38.000 tonnes, en importe 50.000; 80.000 ouvriers sont employés par les diverses industries, greffées sur cette production et sur cette importation. L'Angleterre interdit la culture du tabac et retire un revenu de 50 millions des droits de douane; elle importe 41.000 tonnes dont 36.000 provenant des États-Unis.

La Russie et les États-Unis sont grands producteurs de matières premières; l'une cultive 108.000 hectares donnant 82.000 tonnes de produits annuels; quant aux États-Unis, ils produisent plus de 150.000 tonnes et en exportent pour une valeur de 119 millions de francs, dont 34 p. 100 en Angleterre, 17 p. 100 en Allemagne, 10 p. 100 en France et en Italie, 8 p. 100 en Belgique. Le Japon a l'avantage de posséder une population de grands fumeurs; hommes et femmes y utilisent la pipe en métal, à tuyau de bambou; production annuelle : 81.500 tonnes, dont 80.000 consommées localement et 1.500 exportées en Angleterre.

La Havane a conservé sa vieille supériorité; les bonnes marques, du moins celles qui n'ont pas été accaparées par les syndicats, conservent leur ancienne valeur et donnent satisfaction aux goûts les plus exigeants.

II. — Dès la reprise par l'État (1890) du monopole des allumettes, les inconvénients graves du phosphore blanc avaient primé toutes les autres préoccupations; les cas de nécrose phosphorée allaient se multipliant, malgré les précautions hygiéniques les plus minutieuses.

C'est à MM. Sevène et Cahen, ingénieurs des manufactures de l'État, que nous devons la solution définitive, l'allumette au sesquisulfure de phosphore, qui a subi victorieusement les épreuves nécessaires; sa pâte s'enflamme à 95 degrés (phosphore blanc, 60 degrés; phosphore rouge, 260 degrés); elle contient peu de chaleur latente spécifique et

le mélange sesquisulfure-chlorate de potassium ne donne lieu ni à des explosions accidentelles, ni à des projections ou crachements dangereux; enfin il n'entre en ébullition qu'à 380 degrés; c'est donc un corps très fixe et qui n'émet ni odeur, ni fumée, dans les ateliers.

D'ailleurs, les allumettes au sesquisulfure se sont rapidement répandues à l'étranger (Belgique, Angleterre, Roumanie, etc.) et leur fabrication mécanique est désormais réalisée par la machine Sevène et Cahen, qui reçoit les tiges, les range dans des plaquettes d'acier réunies en une longue chaîne sans fin, les trempe dans un bain de soufre ou de paraffine, les munit au moyen d'un rouleau trempeur d'un bouton de pâte bien régulier, les sèche et enfin les fait tomber dans leurs boîtes. Trois ouvrières assurent, avec cette machine, une production journalière de 2.500.000 allumettes.

On consomme 75 p. 100 de ces allumettes en bois au sesquisulfure, 22 p. 100 d'allumettes dites *suédoises*, à frottoir au phosphore rouge, et 3 p. 100 d'allumettes de cire au sesquisulfure. Le bénéfice net a été, en 1899, de 23 millions de francs, soit de 640 francs au million d'allumettes, contre environ 9 millions de dépenses.

La Suède (manufactures de Jouköping, de Tidaholm et Gottenbourg), l'Algérie (Société Caussemille jeune, etc.), l'Autriche-Hongrie et la Russie étaient brillamment représentées à l'Exposition.

QUINZIÈME GROUPE.

INDUSTRIES DIVERSES.

Classe 93.

COUTELLERIE.

L'état actuel de l'industrie de la coutellerie a été parfaitement exposé dans le rapport de M. Thinet. En France, Paris, la Haute-Marne (Langres), Thiers et Châtellerault se partagent la production nationale.

Paris occupe 800 couteliers, parmi lesquels il faut surtout retenir les orfèvres et les producteurs d'instruments de chirurgie. Les tondeuses mécaniques et les tire-bouchons à systèmes se fabriquent aussi à Paris, dans d'excellentes conditions.

L'industrie de Langres date du xve siècle; elle est actuellement concentrée à Nogent et produit surtout la coutellerie fine. Les procédés mécaniques sont encore peu développés et le même ouvrier lime, ajuste et monte; lame et ressort sont forgés au marteau; seuls l'émoulage et le polissage sont confiés à des spécialistes.

La cisellerie est mieux organisée et plus mécanique; les procédés d'estampage au marteau-pilon lui sont appliqués. L'ensemble de la région occupe 5.000 ouvriers, en partie agriculteurs, et produit 5 millions de matière ouvrée.

Thiers, dont la prospérité remonte au xive siècle, fabrique, en qualités moyennes et bon marché, les quatre cinquièmes de la production nationale; la région compte 18.000 ouvriers, occupés par 500 patrons, et produisant annuellement 2.500 tonnes de marchandises dont la valeur est évaluée à 15 millions de francs; l'exportation se chiffrerait par 3 millions environ.

A Thiers, l'été amène le chômage, par disparition de la force hydraulique nécessaire; il serait utile d'y augmenter le nombre des mo-

teurs à vapeur et à explosion, et de doter la rivière d'un barrage et d'un réservoir.

A Châtellerault, l'industrie coutelière remonte aussi au XIVe siècle et se marie avec la manufacture d'armes (transférée de Klingenthal en 1819). Les usines sont bien montées au point de vue mécanique et de la division du travail; elles occupent 500 ouvriers.

L'Angleterre compte, à Sheffield, 16.000 ouvriers couteliers des deux sexes, réputés pour leur habileté manuelle et produisant des rasoirs et des tondeuses renommés. L'exportation a une tendance à diminuer; elle montait encore, en 1898, à 14 millions de francs, dont plus de la moitié pour les colonies anglaises.

En Allemagne, la fabrication est concentrée à Solingen où l'on compte 500 usines et 18.000 ouvriers. Les produits en coutellerie et armes blanches se chiffrent par 50 millions de francs, dont les deux tiers sont destinés à l'exportation. L'industrie de Solingen a largement bénéficié de tous les progrès mécaniques; la régularité de la fabrication est parfaite, l'émoulage ne laisse rien à désirer, les ressorts sont soignés, les accessoires (étuis) élégants, les prix souvent très bas.

Eskilstuna, en Suède, est maintenant doté d'usines mécaniques, datant d'une vingtaine d'années, qui occupent une population ouvrière de 5.400 personnes et d'où sortent les couteaux suédois et les rasoirs à dos rapporté, jouissant d'une réputation méritée.

La Russie occupe, en deux centres, Gorbatov et Mourom, 10.600 couteliers qui suffisent sensiblement à la consommation nationale.

Quant aux États-Unis, ils se sont affranchis de l'importation européenne et comptent 125 grandes usines mécaniques, qui fabriquent à la perfection les tondeuses et les rasoirs articulés.

En terminant, M. Thinet recommande à juste titre, à notre industrie nationale, notamment à celle de Thiers et de Langres, de renouveler et de perfectionner son matériel; la qualité de la matière première, qui jadis faisait la supériorité des produits de Sheffield et surtout de Suède, est maintenant fort unifiée par le bas prix relatif des excellents produits de nos aciéries. Le goût et le sens artistique, dont nos ouvriers sont doués pour la forme et l'ornementation des

manches et des accessoires, devraient nous permettre de développer notre exportation, tout en continuant à alimenter avantageusement notre marché intérieur.

Classe 96.

HORLOGERIE.

En rendant compte des progrès accomplis par l'horlogerie, M. Georges Borrel, rapporteur de la Classe 96, fait d'abord ressortir la double tendance actuelle de ces progrès : perfectionnement des moyens mécaniques de fabrication amenant à un bon marché toujours croissant, amélioration notable des procédés de réglage et de correction de la marche.

Le plus important de ces progrès, au point de vue théorique, consiste dans l'utilisation, désormais généralisée, du métal Guillaume (acier à 36,2 p. 100 de nickel) pour les balanciers des montres et chronomètres, ainsi que pour les tiges des pendules; dans les limites de température à prévoir, sa dilatation est presque nulle; il fournit donc une solution simple et élégante, supérieure à tous les autres modes de compensation.

Les applications de l'électricité à l'horlogerie se sont singulièrement multipliées, soit qu'on l'emploie comme moyen de transmission du mouvement, soit qu'on lui demande simplement de jouer le rôle d'agent régulateur du synchronisme des appareils. Sous cette dernière forme, l'emploi de l'électricité s'associe avantageusement, à la façon d'un relais, avec l'emploi de l'air comprimé ou aspiré.

En France, 42.000 ouvriers vivent des produits de l'horlogerie qui atteignent une valeur totale d'environ 61 millions de francs; les principaux centres de production sont Paris, Besançon, Montbéliard, la Haute-Savoie. L'enseignement professionnel est libéralement distribué dans les Écoles de Paris, de Besançon, de Cluses et de Morez-du-Jura; nous n'avons à craindre aucune concurrence pour l'horlogerie de haute précision et pour les produits artistiques; mais il ne faut pas nous lasser de développer notre exportation, en perfectionnant encore notre outillage et notre représentation commerciale.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Parmi nos rivaux, la Suisse, l'Allemagne et l'Italie étaient largement représentées; la Suisse brille toujours au premier rang pour la perfection et la complication de ses montres; l'Allemagne développe la fabrication des pendules; les États-Unis n'avaient exposé que des produits à bas prix.

Classe 98.

ARTICLES DE PARIS, BROSSERIE, MAROQUINERIE, TABLETTERIE ET VANNERIE.

Les articles de Paris sont maintenant fabriqués dans d'autres pays que le nôtre; la création d'écoles professionnelles, la modification des goûts de la clientèle démocratique, qui se montre de plus en plus difficile, nous ont suscité des concurrents, parmi lesquels nous devons énumérer, avec M. Amson, rapporteur de la Classe 98, l'Allemagne, les États-Unis, le Japon, l'Italie et surtout l'Autriche.

La *brosserie* occupe en France une vingtaine de mille ouvriers et traite pour 35 à 40 millions d'affaires par an; c'est dans l'Oise que paraissent avoir été créés les premiers outillages; l'Angleterre, l'Allemagne, le Japon luttent avec nous, mais nous occupons le premier rang et nous paraissons devoir le conserver. Il en est de même en matière de *brosses et pinceaux fins pour la peinture.*

L'industrie des *plumeaux* date de 1815; c'est le nandou de l'Amérique du Sud qui fournit les plumes les plus estimées, et qui lutte avec avantage contre les plumes de dindon sauvage de la fabrication américaine.

En *maroquinerie,* nous remarquons l'introduction du cuir écrasé et des peaux sciées, qui fournissent des feuilles minces et très souples. L'Autriche, l'Allemagne, les États-Unis sont à leur tour devenus producteurs et, depuis 1860, nous avons affaire à une sérieuse concurrence. Les cuirs d'art, à la façon de ceux de Cordoue et de Venise, ont été remis en honneur et les traditions de la Renaissance ont été renouées. Les albums pour photographies sont un peu délaissés; mais l'industrie des cadres est en pleine prospérité. La maroquinerie a son lieu d'élection à Paris, qui en fabrique pour une somme totale de

25 millions de francs, dont le cinquième environ destiné à l'exportation.

La *tabletterie*, qui travaille les os, l'ivoire, la nacre et l'écaille, est aussi une spécialité bien française et surtout cantonnée dans le département de l'Oise; les maîtres incontestés pour la sculpture sur ivoire sont les Japonais. Les articles en bois nous viennent de la Suisse, qui possède 1.300 sculpteurs sur bois, produisant par an une valeur de 2 millions. Depuis 1889, l'industrie du petit meuble de fantaisie s'est développée au Tonkin et exporte ses produits en Angleterre et aux États-Unis.

La *pipe en racine de bruyère* a fait de grands progrès depuis 1889; elle occupe 6.000 à 7.000 ouvriers à Saint-Claude (Jura), et ses produits représentent une valeur de 12 millions, dont les deux tiers sont destinés à l'exportation.

Le *peigne en celluloïd* est en voie de pleine prospérité; à Oyonnax (Ain), la production a triplé depuis dix ans et atteint une valeur de 12 millions de francs, dont 1 million seulement pour la corne.

Le rapport intéressant et substantiel de M. Amson se termine par une notice succincte, signée de M. Émile Dupont, président du Jury, et relative au rôle important que la maison Amson a joué, depuis 1888, dans la lutte pour la suprématie de l'industrie française; grâce à sa puissance de production et malgré l'augmentation de la main-d'œuvre, cette maison, qui passe pour la plus importante usine de maroquinerie du monde entier, parvient à exporter les deux tiers de sa fabrication.

Classe 99.

CAOUTCHOUC.

Les applications du caoutchouc aux diverses industries mécaniques et domestiques se multiplient de telle façon que la production de sa matière première, qui est un latex coagulé de divers végétaux, commence à devenir insuffisante. Dans un rapport très documenté, M. E. Chapel se préoccupe à juste titre de l'avenir et cherche quelques consolations dans les tentatives de culture poursuivies récemment sur le *Manihot Glaziowii* dont les produits se sont montrés malheureusement fort médiocres, et dans l'extraction par trituration mécanique du

caoutchouc contenu dans l'écorce des *Hancornia,* dont la friabilité est particulièrement favorable.

Le para fin vient du Brésil; il en fournissait 15.500 tonnes en 1889; la production de 1899 a atteint 26.700 tonnes, malgré un droit de sortie *ad valorem* de 22 p. 100. Son prix est d'environ 11 à 12 francs le kilogramme. Les autres matières premières, de qualité inférieure, viennent surtout d'Afrique; on recueille au total 55.000 tonnes de latex d'une valeur moyenne de 7 fr. 25 le kilogramme et totale de 400 millions.

La récolte exige des soins spéciaux, pour aseptiser les gommes et les empêcher de fermenter; l'enfumage, utilisé au Brésil, réussit bien, à ce point de vue, et explique peut-être en partie la qualité de ses produits. On a récemment expérimenté avec succès l'essorage des latex bruts, ou encore leur barattage.

Malgré tous ces efforts, les cours augmentent avec une persistance inquiétante; en faisant abstraction des hauts et des bas dus à la spéculation, on peut dire que, depuis quarante ans, le caoutchouc a vu sa valeur croître de 20 centimes par kilogramme et par an. Si l'on s'en tient aux dix dernières années, durant lesquelles le développement de l'automobile a créé un nouveau débouché aux jantes pneumatiques, creuses et pleines, l'accroissement annuel du prix de la matière première est double et atteint 40 centimes par kilogramme et par an.

Cette énorme plus-value a stimulé le zèle des inventeurs et la recherche des succédanés, parmi lesquels M. Chapel cite le *factice* ou caoutchouc des huiles, obtenu en traitant les huiles de lin ou de colza, à froid par le chlorure de soufre, ou à chaud par le soufre; il vaut de 0 fr. 85 à 2 francs le kilogramme et ne possède malheureusement que les apparences des qualités de la gomme naturelle. On utilise aussi les *déchets,* que l'on ne sait pas encore débarrasser de leur soufre et parmi lesquels, seuls, les déchets de fils ou de dilatés ont quelque valeur.

La fabrication proprement dite a fait ses grands progrès de 1840 à 1846; c'est en 1840 que Ch. Goodyear a découvert la vulcanisation, en combinant à chaud la fleur de soufre avec le caoutchouc; ce dernier à l'état brut est cassant à froid, gluant à chaud; on sait les qualités de souplesse et d'élasticité qu'il acquiert par vulcanisation.

En 1843, Thomas Hancok se sert pour la première fois de l'immersion dans un bain de soufre fondu. Puis Parkes, en 1846, préconise, pour les objets de faible épaisseur, l'immersion à froid dans une solution de sulfure de carbone et de chlorure de soufre.

Depuis lors, le malaxage et l'étirement des gommes naturelles se sont faits par des moyens mécaniques de plus en plus puissants; les cylindres des laminoirs ont des diamètres sans cesse croissants. En même temps, les procédés de moulage et d'étampage se perfectionnent. Aux autoclaves se substituent des chaudières à double fond, chauffées à la vapeur et suivies de chambres de condensation, où se dépose le soufre en excès.

La fabrication comporte des *articles industriels* ou *techniques*, parmi lesquels se rangent les courroies, joints, clapets, cylindres de laminoirs, tapis, olives de suspension, diaphragmes de freins à vide et de soufflets, bacs, semelles, pneumatiques creux et pleins de voitures et de bicyclettes, colliers d'attelage de luxe, etc. Ces pièces, plus ou moins consolidées au moyen d'armatures, de toiles et d'enveloppes, sont tributaires des procédés de moulage et de soudure sous pression, avant toute galvanisation; ainsi, l'âme des chambres à air de pneumatiques exige un noyau susceptible de résister à une très forte pression et de s'éliminer intégralement après moulage. Ainsi encore, certaines jantes pleines possèdent une âme en acier, qu'on soude à l'arc électrique après mise en place; puis on rabat le caoutchouc sur la soudure et on le colle efficacement.

La feuille anglaise, découpée à la scie dans les blocs de para fin, refroidis à plusieurs degrés au-dessous de zéro, sert aux *fils* et aux *dilatés;* au lieu d'attendre les temps froids, on se sert maintenant de chambres frigorifiques, pour donner aux blocs de para la consistance nécessaire; M. Chapel déplore que la qualité de ces feuilles anglaises ait incontestablement baissé et possède moins de nerf que jadis. Par contre, sa mise en œuvre a bénéficié des progrès modernes de la mécanique; telle presse coupe automatiquement les feuilles, les moule aux dessins convenables au moyen d'une aiguille creuse, qui insuffle de l'air, puis se retire pour permettre à la pression de terminer son œuvre et de souder les bords; la vulcanisation se fait par immersion à

froid dans le bain de Parkes. Nous avions autrefois la spécialité des dilatés artistiques pour jouets d'enfants; elle nous échappe actuellement et nous avons affaire à la concurrence américaine.

Par contre, nous sommes toujours tributaires de l'Angleterre pour les fils; nous en importons 150 tonnes, représentant 2.500.000 francs.

Classe 100.

BIMBELOTERIE.

La fabrication des jouets d'enfants fait vivre en France 25.000 ouvriers et ouvrières; elle comporte un chiffre annuel d'affaires de 40 à 50 millions de francs; dans un spirituel rapport, plein d'érudition et fécond en enseignements variés, M. Léo Claretie fait ressortir que cette industrie, elle aussi, s'est rapidement transformée, les grandes usines absorbant les petits ateliers et faisant disparaître le travail en chambre; le jouet en métal peut servir d'exemple : voici une seule usine comptant 450 ouvriers, mettant en œuvre 673 tonnes de matières premières, fer-blanc, plomb, cuivre, étain, carton, etc., qui, une fois ouvrées au moyen de machines-outils perfectionnées, occuperont un volume de 5.600 mètres cubes.

M. Léo Claretie a trouvé, chemin faisant, le modern-style laissant, sur les petits meubles de poupée, son empreinte parfois vaporeuse et poétique, le plus souvent molle et indécise; il n'est pas tendre pour cette marque qu'il considère comme le témoignage éclatant de la faillite de notre volonté, dans notre société désorientée et indécise.

Il nous faut cependant rappeler cette volonté défaillante et en faire bon usage, même pour fabriquer les jouets d'enfants; car, ici encore, nous sommes aux prises avec des concurrents tenaces et heureux : l'Allemagne en fabrique pour plus de 60 millions de francs par an; elle a fondé des écoles professionnelles; elle augmente son exportation vers l'Angleterre et les États-Unis; ses jouets sont peut-être moins artistiques que les nôtres; ils procèdent d'une tendance pédagogique qui nous est étrangère et à laquelle nous ferons bien de nous plier, nous aussi : *utile dulci*.

DIX-HUITIÈME GROUPE.

ARMÉES DE TERRE ET DE MER.

Classe 116.

ARTILLERIE.

Nous devons à M. le colonel Gillot un rapport très complet et très instructif sur la Classe 116; malgré le secret gardé en général par les diverses nations sur les plus récents progrès de leur armement, le matériel d'artillerie, construit par l'industrie, reflète à assez brève échéance ces progrès; il est évident que c'est dans ce domaine, pour ainsi dire public, que le rapporteur de la Classe 116 a puisé ses exemples[1].

Les progrès patents de l'artillerie moderne procèdent des mêmes causes que ceux des machines-outils : la perfection croissante des nouveaux aciers permet d'alléger le matériel, tout en lui demandant des efforts plus grands; la tendance à l'automaticité augmente la vitesse du tir et diminue l'importance de la main-d'œuvre nécessaire.

1° **Matériel de campagne.** — Ce qui caractérise le matériel actuel, quel qu'en soit le constructeur, c'est le frein qui, limitant ou même empêchant totalement le recul de la voiture-pièce, a permis d'augmenter, dans de singulières proportions, la rapidité et aussi la précision du tir.

Frein hydraulique. — Il ne sert le plus souvent qu'à limiter ou mieux à adoucir le recul de la pièce, le retour en batterie s'effectuant au moyen de ressorts puissants (rondelles Belleville), qui sont comprimés pendant le recul. Ces ressorts supportent une compression initiale, de façon à assurer le retour complet en batterie.

[1] Matériel Vickers-Maxim, Darmancier et Dalzon, Krupp, Canet, Skoda, Hotchkiss, etc.

Frein hydro-pneumatique. — Il limite non seulement le recul, mais ramène la pièce en batterie : les constructeurs l'appliquent peu au matériel de campagne.

Le frein peut être placé soit entre le tube-canon et l'affût (Maxim-Vickers), soit entre celui-ci et la bêche de crosse (Saint-Chamond 1894); enfin, il peut être une combinaison des deux.

Le calibre, généralement adopté, est voisin de 75 millimètres. L'affût principal est souvent doublé d'un petit affût auxiliaire, qui permet de modifier le pointage en direction au moyen d'une manivelle.

Les *projectiles* employés sont de deux sortes : les uns sont à charge brisante, les autres sont à balles. De grands progrès ont été apportés à la construction et à la charge des projectiles.

C'est ainsi qu'on leur applique les divers procédés métallurgiques dont a récemment bénéficié la fabrication des tubes et pièces embouties[1]. A Montbard, par exemple, les obus, les tubes, etc., sont fabriqués suivant le principe de la méthode Ehrardt; on part d'un bloc de métal de section carrée, que l'on place dans une matrice de section circulaire; un poinçon refoule le métal dans la matrice tout en faisant le trou central.

On tend de plus en plus à abandonner la *gargousse* indépendante du projectile pour lui substituer la cartouche avec douille en laiton, qui assure l'obturation de la culasse; car, au moment du départ du coup, elle est appliquée fortement sur la paroi du canon; on a donc pu supprimer, grâce à son emploi, les obturateurs plastiques.

2° **Canons automatiques.** — Sous cette rubrique, on peut ranger les canons *automatiques* de 37 millimètres et au-dessous, et les canons *semi-automatiques* de 47, 57, 76 millimètres. Les calibres ci-dessus sont ceux de la maison Vickers-Maxim.

L'inconvénient des canons automatiques réside dans leur grande consommation de projectiles; la maison Maxim est une de celles qui ont acquis une grande réputation dans cette fabrication. Ses canons automatiques utilisent le recul. Pour charger, on lance une car-

[1] Voir Classe 64, page 279.

touche dans la chambre. La vitesse du tir est d'environ 25 coups par minute. Le grand avantage du système est de faire l'économie d'un servant.

Les canons automatiques ne sont pas encore entrés dans la pratique courante des armées européennes : on ne les utilise guère que dans la marine. Néanmoins, il faut faire une exception pour les *mitrailleuses* proprement dites, qui utilisent des balles de fusil et dont tous les pays ont mis des exemplaires en essai.

Elles fonctionnent par utilisation du recul (Vickers-Maxim) ou par emprunt de gaz; elles tirent jusqu'à ce qu'on les arrête, et tant qu'il y a des projectiles dans la trémie de chargement ou sur la bande mobile. Un manchon, plein d'eau, sert à refroidir la chambre de combustion.

Le calibre des mitrailleuses varie suivant le pays auquel on les destine : c'est le même que celui du fusil de guerre de ce pays.

3° **Canons de montagne.** — Les canons de montagne sont constitués par des pièces démontables que l'on peut charger à dos de mulets. Saint-Chamond construit un canon dont le tube se démonte en deux parties vissées, ce qui permet de charger symétriquement le mulet qui le porte.

4° **Matériel lourd.** — Les canons de gros calibre sont mus mécaniquement, mais on a généralement soin d'en permettre la manœuvre à la main, pour le cas où les dispositifs mécaniques viendraient à se détériorer.

La Société de Châtillon-Commentry exposait une grosse pièce en tourelle, possédant un double affût, pour le pointage en hauteur de site et le pointage en portée. L'appareil de pointage proprement dit est constitué par une lunette munie d'un réticule. Une tourelle à éclipse contenait des canons de 305 millimètres, tirant des projectiles de 300 kilogrammes à la vitesse initiale de 800 mètres. Ces pièces sont munies de freins; une petite pompe permet d'en remplir les cylindres. La mise de feu a lieu électriquement au moment où la tourelle arrive dans la position voulue.

On peut citer, à propos des tourelles, une cuirasse ayant supporté douze projectiles sans avoir été brisée, soit une force vive totale de 2.610 tonnes-mètres.

Les pièces de côte peuvent être munies d'une mire lumineuse.

Le canon de côte, système Durlacher (Russie), emmagasine par recul le travail nécessaire pour le pointage et pour le chargement. La quantité d'énergie cinétique, développée par le recul, est de 32 tonnes-mètres, et on utilise 5 tonnes-mètres seulement pour les opérations du tir. Les résistances passives absorbent l'excédent. Au lieu de 10 hommes, 4 et, à la rigueur, 2 suffisent pour manœuvrer cette pièce : leur travail consiste à ouvrir et à fermer des robinets.

Fusils. — Les progrès effectués dérivent du principe du chargeur, imaginé en 1886 par un inventeur autrichien, M. de Mannlicher.

Depuis cette époque, des progrès de plus en plus grands ont été réalisés dans la voie de l'automaticité. En 1900, M. de Mannlicher a réalisé un fusil automatique, un pistolet semi-automatique, etc.; le poids du chargeur est diminué, le nombre de balles de chaque chargeur augmenté.

Les qualités du métal, nécessaire aux armes à feu, exercent toujours l'ingéniosité des savants et des métallurgistes; tout récemment, M. Vieille, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, a publié les résultats de remarquables expériences, déterminant avec précision l'origine des *érosions*, qui altèrent souvent avec rapidité l'âme des pièces à feu. Il faut la rechercher exclusivement dans la température d'explosion de la poudre employée et dans celle de fusion du métal. Les poudres froides et les métaux réfractaires évitent donc les érosions.

Classe 51.

ARMES DE CHASSE.

M. Gastinne-Renette, rapporteur de la Classe 51, constate que l'Exposition n'a pas mis en lumière des progrès bien notables dans la fabrication des armes de chasse; les fusils à bascule, à percussion centrale, sans percuteurs apparents (*hammerless*), avec bons éjec-

teurs, ont toujours la faveur générale. Leur construction, qui utilise désormais des aciers spéciaux, se fait maintenant sous forme de monoblocs ou de demi-blocs; c'est-à-dire qu'on ne brase plus les crochets; on les réserve dans la masse. Le forage se fait en *chokbore*, dans des canons de plus en plus courts. Quelques types anglais présentent une seule détente pour les deux coups.

Les fusils de chasse à répétition constituent un monopole encore exclusivement américain; M. Gastinne-Renette constate qu'il en existe quelques types absolument satisfaisants. Chemin faisant, il rappelle l'ingénieux fusil de salon à acide carbonique liquide qui, sous une forme réduite, contient une cinquantaine de charges à une pression de 50 atmosphères.

Les poudres sans fumée, à base de nitro-cellulose et de nitroglycérine, ont pris la place des anciennes poudres; elles ont pour principal avantage de diminuer le poids de la cartouche et d'éviter tout encrassement.

Classe 117.

GÉNIE MILITAIRE.

M. le commandant J. Boulanger, rapporteur de la Classe 117, nous conduit, dans son intéressant rapport, à travers un grand nombre d'industries métallurgiques, mécaniques, électriques, dont le génie militaire est tributaire. Avec les tourelles blindées à éclipse et à pivot, nous apprenons à apprécier l'acier au nickel et au chrome de Saint-Chamond, les ingénieuses dispositions de Châtillon-Commentry-Neuves-Maisons, qui économisent la place et le personnel. Le mastic pur et les dalles d'asphalte de Seyssel se révèlent à nous comme enduits et planchers hygiéniques. Les constructions portatives et transportables, principalement en bois interchangeables, sont susceptibles d'applications variées et utiles; citons un type de baraques, à fermes en ogives dont les naissances reposent sur le sol, et dont les arcs sont composés d'éléments de planches recroisées de 1 m. 20 de longueur, dû au général russe Fabritius, qui, avec sa couverture en carton goudronné, constitue un type économique bien supérieur à la tente.

Parmi les nombreuses applications industrielles mises en œuvre par le génie militaire, nous retiendrons seulement trois inventions qui lui sont vraiment propres et que nous devons d'ailleurs à trois éminents officiers : les *ponts démontables* du lieutenant-colonel Gisclard, dans lesquels non seulement les travées, mais les poutres de rives sont indépendantes, individuellement contreventées, et ont pour éléments des panneaux à croisillons que l'on assemble en forme prismatique triangulaire.

Le système de *téléphonie* du capitaine Charollois repose sur ce principe qu'une résistance élevée du fil de ligne et un isolement incomplet ne s'opposent pas au passage des courants utiles. Dès lors, pour concilier une résistance à la rupture suffisante avec ces qualités négatives, on pose simplement sur le sol un fil d'acier, recouvert de cuivre, de $0^{mm}6$ de diamètre; chaque bobine porte un kilomètre de fil; pour la relève, les hommes la portent au moyen de courroies sur la poitrine et peuvent manœuvrer facilement sa manivelle. Le téléphone possède des récepteurs genre Ader et le microphone à granules et plaque de mica, utilisé par le Home-Téléphone. Les piles Leclanché, actuellement en usage, sont dites *à sac* et composées d'une électrode en zinc et d'une autre formée de deux demi-cylindres comprimés graphite et peroxyde de manganèse, pressés contre une lame de charbon et insérés dans un sac de toile, le tout baignant dans un mélange de chlorhydrate d'ammoniaque et de chlorure de zinc, que l'on peut immobiliser au moyen de la gelée d'Agar-Agar ou de la cellulose de noix de coco. Elles donnent une tension de 1,5 volt, et un élément, fermé sur une résistance de 10 ohms, fournit pendant le premier jour 0,155 ampère, puis 0,140, et décroît lentement jusqu'au cinquantième jour où il donne encore 0,068 ampère; en tout il aura fourni 118 ampères-heure, moyennant quelques lavages et quelques recharges très espacés.

Les *projecteurs électriques* sont tributaires d'une invention du commandant Mangin, qui remplace avantageusement les miroirs paraboliques de difficile construction; l'appareil réflecteur est composé d'un bloc de verre terminé intérieurement et extérieurement par deux sphères de rayons différents; l'extérieure, à plus grand rayon, porte

une argenture. On peut rendre ainsi les rayons sensiblement convergents jusqu'à 12 ou 15 kilomètres de portée, limite de puissance des projecteurs exposés.

Classe 118.

GÉNIE MARITIME.

En rendant compte des modèles et du matériel exposés dans la Classe 118, et sans se départir de la discrétion imposée par l'abstention de notre Ministère de la marine et par celle de la plupart des gouvernements étrangers, M. Pollard, ingénieur en chef du génie maritime, a tracé un tableau tout à fait intéressant des progrès accomplis, durant les dix dernières années, par les principaux types de bâtiments de combat : cuirassés et croiseurs-cuirassés de 1er et de 2e rang; croiseurs protégés; canonnières et croiseurs-torpilleurs; contre-torpilleurs et torpilleurs; sous-marins.

La nécessité de doter les navires de première ligne de la puissance offensive, de la protection et de la vitesse maximum, sans sacrifier aucun de ces éléments, a exigé la grandeur croissante des déplacements; la moyenne oscille actuellement entre 12 et 15.000 tonnes avec une longueur de 120 à 150 mètres, un tirant d'eau de 7 m. 80 à 8 mètres et une puissance de 18 à 30.000 chevaux. La vitesse des cuirassés varie de 18 à 19 nœuds; celle des croiseurs cuirassés, plus effilés et moins puissamment armés, de 21 à 23 nœuds.

La grosse artillerie est en général répartie dans deux tourelles placées, suivant l'axe, à l'avant et à l'arrière, et armées chacune de deux canons de 305 millimètres pour les cuirassés, de 234 millimètres à 194 millimètres pour les croiseurs.

L'artillerie moyenne, composée de 12 à 16 canons de 152 à 120 millimètres, est en tourelles ou en casemates cuirassées; elle est à tir rapide, comme l'artillerie légère qui se trouve très disséminée, qui a un diamètre de 37 à 76 millimètres et comprend une vingtaine de pièces.

C'est maintenant à l'électricité que l'on confie la manœuvre des pièces de gros calibre.

Quant au cuirassement, il a bénéficié, depuis 1889, des progrès accomplis dans la fabrication des aciers spéciaux au chrome et au nickel, auxquels on applique en outre les procédés spéciaux de trempe et de cémentation (Harvey et Krupp). L'étendue de la cuirasse s'est accrue; on lui adjoint généralement deux ponts blindés, limitant le caisson cellulaire. Mais l'épaisseur maximum a pu être réduite d'environ un tiers, de 46 centimètres à 30 centim. 5.

L'approvisionnement de charbon oscille de 800 à 1.400 tonnes; sauf en Angleterre et en Italie, les navires de première ligne comportent actuellement trois hélices.

Parmi les contre-torpilleurs, exposés en modèles, M. Pollard cite le *Forban* et le *Cyclone* qui ont tenu, en 1895, le record de la vitesse avec 31 nœuds. Le fameux destroyer *Viper* (Hawthorn-Leslie et Parsons et Cie), avec ses turbines à vapeur à la fois puissantes et légères, a atteint 35 nœuds 5; on sait à quelle catastrophe, toute récente, le vouait le défaut de résistance de sa coque.

Le détail des progrès, accomplis par les appareils moteurs et évaporatoires des bâtiments de guerre, va de pair avec celui de leur armement et de leur défense. Les grandes machines pilon, à multiple expansion, ont leurs trois ou quatre cylindres indépendants les uns des autres, montés sur bâtis très robustes et entourés de chemises de vapeur. La tuyauterie, en acier sans soudure, est rectiligne, avec joints glissants. La distribution se fait par tiroirs cylindriques équilibrés et coulisses Stephenson.

En moyenne, l'ensemble de l'appareil moteur, machine et générateurs multibulaires, pèse de 74 à 75 kilogrammes par cheval à la puissance maximum.

Les appareils évaporatoires sont, le plus souvent, à tubes d'eau; M. Pollard fait ressortir la grande extension prise depuis 1889, dans la marine militaire, par les chaudières Belleville, Niclausse et Du Temple.

Les premières, de 30.000 chevaux en 1889, ont passé à 1.772.000 répartis sur 174 unités en France, en Angleterre, en Russie, au Japon, etc. Elles sont maintenant munies d'économiseurs réchauffeurs, également tubulaires, qui procurent une économie de 4 p. 100

pour des combustions voisines de 70 kilogrammes par heure et par mètre carré de grille, montant à 35 p. 100 pour des combustions de 110 kilogrammes. Les secondes, qui datent de 1890, sont représentées en 1900 par 38 unités d'une puissance de 317.000 chevaux, réparties entre la plupart des grandes nations, y compris les États-Unis.

Quant aux chaudières Du Temple, grâce à l'emploi de tubes à facettes, la voûte centrale du foyer est suffisamment étanche pour que les flammes suivent un chemin méthodique, en revenant par le faisceau des tubes d'eau; à 14 kilogrammes de pression, et en partant d'eau à 100°, on obtient encore, avec ces chaudières, 9 kilogr. 83 de vapeur par kilogramme de charbon pour une combustion de 333 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure. On les utilise sur près de 150 torpilleurs de toutes nations. La Société industrielle de Paris (L. N. B.) exposait une chaudière presque identique aux générateurs marins, si répandus en Allemagne, du système Dürr.

En résumé, l'emploi des chaudières multitubulaires marines, d'abord essayées en France, s'est généralisé, à cause de la légèreté relative, de la suppression des explosions à effets dynamiques violents, de la facilité des réparations, de la rapidité de mise en service et de la possibilité d'aborder des pressions élevées, favorables aux multiples expansions. Ces avantages surpassent les inconvénients et les sujétions inhérentes au système : prix élevés, conduite délicate, pureté de l'eau d'alimentation.

L'Exposition ne contenait que deux modèles de sous-marins; nul n'ignore que ces types si intéressants ont largement profité, dans ces dernières années, des progrès accomplis dans la fabrication des machines motrices, des accumulateurs, des gaz liquéfiés. Les uns sont, pour ainsi dire, autonomes et peuvent naviguer et recharger leurs appareils de plongée par leurs propres moyens; les autres doivent venir se ravitailler à terre ou à bord de quelque navire auxiliaire. Les résultats seuls de leurs essais sont connus, et fort encourageants pour notre marine de guerre, qui paraît avoir conquis une sérieuse avance sur ses rivales, à ce point de vue. Les sous-marins sont doués d'ingénieux appareils de vision (périscopes) dus à nos plus émérites constructeurs d'appareils de précision.

Classe 120.

SERVICES ADMINISTRATIFS DES ARMÉES DE TERRE.

Il est intéressant de constater que les progrès des industries alimentaires ont tous leur répercussion sur la gestion des services administratifs des armées et sur le bien-être des soldats. M. Barrier, rapporteur de la Classe 120, a fait ressortir ces progrès qui sont notables.

L'administration de la guerre poursuit l'amélioration du taux du *blutage* (bluterie plane à tamis multiples) qui, de 20 p. 100, doit être poussé à 24 et même à 26 p. 100; elle perfectionne sans cesse les moulins et fours de campagne qui, de *locomobiles*, deviendront certainement *automobiles;* elle possède une lamineuse-découpeuse de biscuit de guerre, à la fois pratique et légère.

Les *conserves* de viande, si précieuses en campagne, ont donné lieu quelquefois à de multiples empoisonnements, dont la cause est toujours dans l'incomplète stérilisation des matières premières, ou dans l'imperfection des moyens employés pour rendre hermétiquement étanches les boîtes de conserves. Une commission, émanée du Comité consultatif d'hygiène publique de France, a récemment codifié les précautions et les moyens de surveillance à exiger à l'avenir. La cuisson en vase clos, dans la vapeur, la concentration des bouillons dans un vide partiel, la soudure à l'étain pur, le contrôle sévère et à tous les stades de la fabrication, préviendront certainement les accidents qui étaient d'ailleurs fort rares, mais dont la possibilité seule était déjà chose abusive.

Le desséchement à haute température, suivi d'une *compression* énergique, est toujours utilement employé à la conservation des légumes et de diverses denrées alimentaires.

Enfin, l'emploi croissant des moyens *frigorifiques* est favorisé par le perfectionnement des machines à froid, qui emploient maintenant non seulement l'ammoniaque liquéfié, mais l'acide carbonique liquide, grâce auquel elles ont à la fois diminué de poids, d'encombrement et de consommation de combustible.

TABLE DES MATIÈRES.

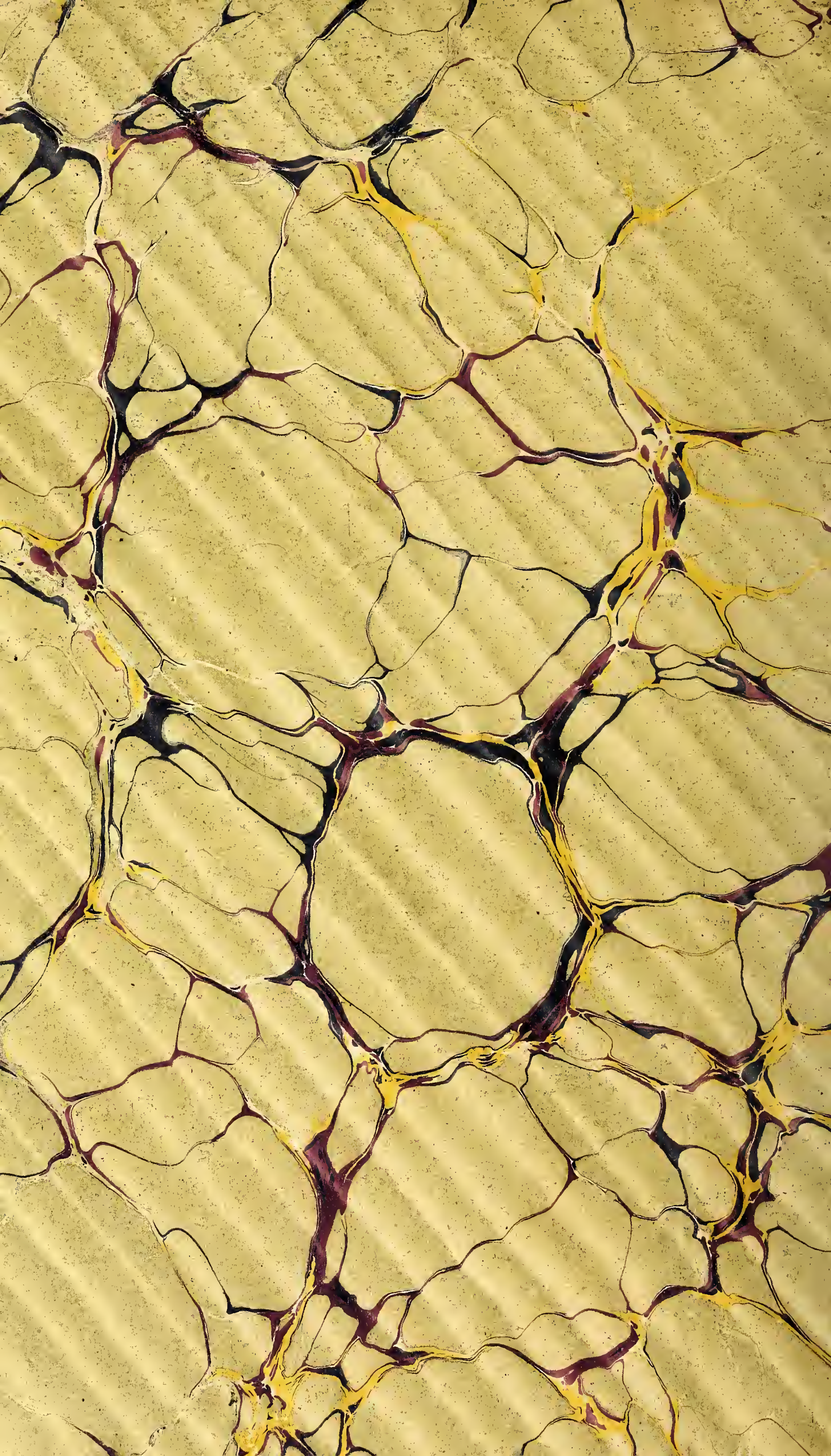
TROISIÈME PARTIE : SCIENCES

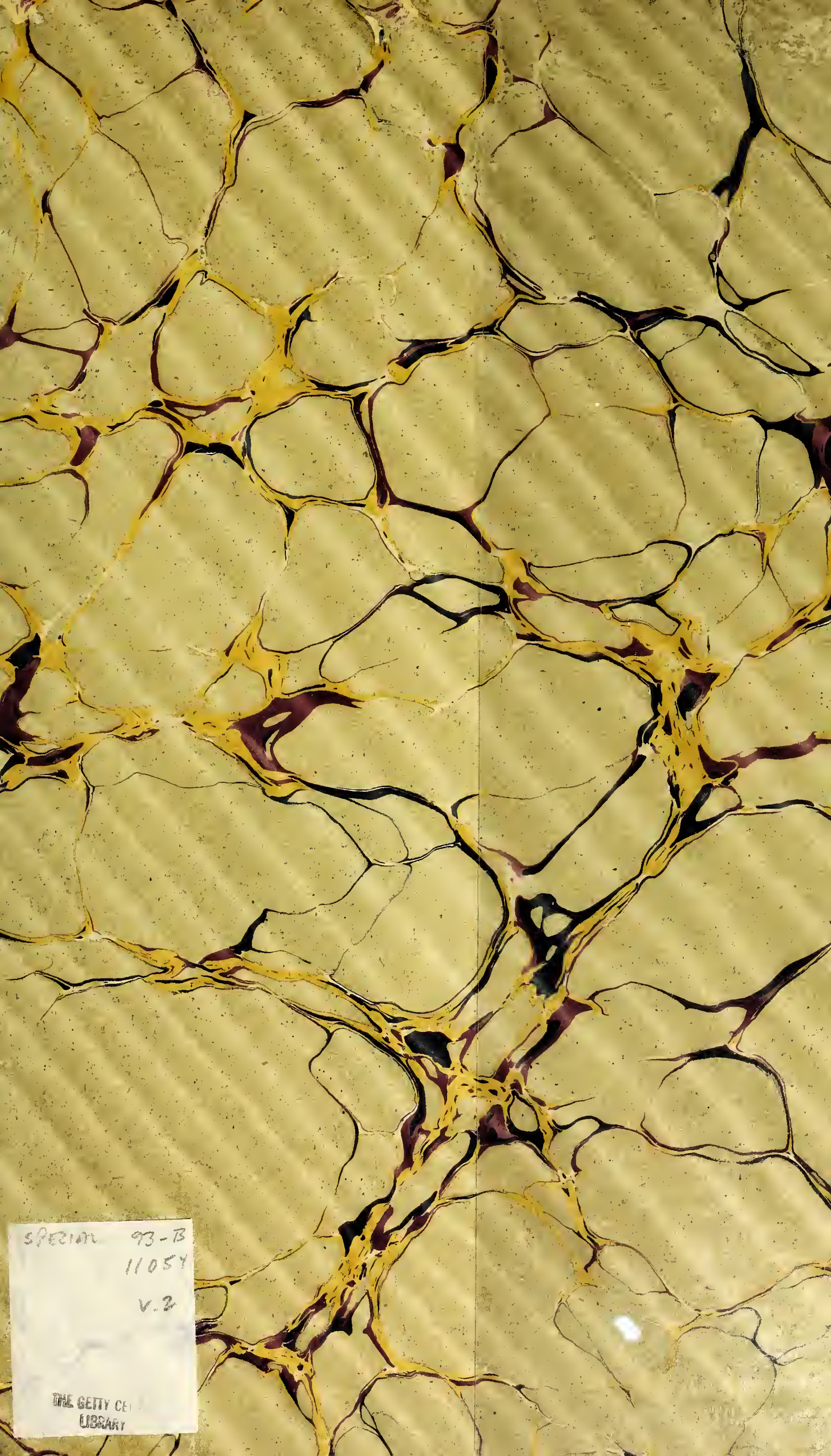
PAR M. ÉMILE PICARD.

QUATRIÈME PARTIE : INDUSTRIE

PAR M. MICHEL LÉVY.

IMPRIMERIE NATIONALE. — 7363-03.





SPECIAL 93-B
11054
V.2
THE GETTY CE
LIBRARY

